

# UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

---

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



Trabajo fin de grado:

## "ESTUDIO Y DISEÑO DEL CARROZADO DE UN PROTOTIPO PARA COMPETIR EN SHELL ECO-MARATHON"

**Autor:** Pablo Manzaneque Pradales

**TUTOR:** Dr. Daniel García-Pozuelo Ramos

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA





### Agradecimientos

*Quiero dedicar unas palabras a todos aquellos que han participado en este trabajo de forma directa o indirecta:*

*Al equipo de la Shell Eco-Marathon de la universidad por dejarme participar en un proyecto tan bonito, en especial a Daniel García-Pozuelo, tutor de este TFG y director del equipo pues sin él nada de esto sería posible.*

*Quiero agradecerse a mis compañeros de trabajo (FLAVIA) pues no hay día que no me enseñen algo nuevo y creo que me están convirtiendo en un gran profesional.*

*También a todas las empresas que han colaborado en la elaboración del presupuesto, gracias.*

*Y por último, sin mencionar nombres, a mi personas más cercanas por su incansable apoyo externo, sobre todo a 'ella'.*

*Gracias.*

**Abreviaturas**

€	Euro (s) (unidad de moneda)
CAD	"Computer aided desing" (diseño asistido por ordenador)
cm <sup>2</sup>	centímetro (s) cuadrado (s) (unidad de superficie)
cm <sup>3</sup>	centímetro (s) cúbico (s) (unidad de volumen)
DIN	"Deutsches Institut für Normung" (Instituto alemán de normalización)
EXW	"Ex Works" (en fábrica)
F1	Fórmula Uno
FEA	"Finite element analysis" (análisis de elementos finitos)
FEM	"Finite element method" (método de elementos finitos)
K	constante de rigidez a torsión
Kg	kilogramo (s) (unidad de masa)
m	metro (s) (unidad de longitud)
m/s <sup>2</sup>	metro (s) por segundo (unidad de aceleración)
mm	milímetro (s) (unidad de longitud)
MPa	Megapascal (es) (unidades de presión)
N	Newton (s) (unidad de fuerza)
Nm	Newton (s) metro (unidad de momento)
Nm/°	Newton (s) metro por grado (unidad de rigidez torsional)
rpm	revoluciones por minuto
SEM	Shell Eco-marathon
TFG	Trabajo Fin de Grado
UC3M	Universidad Carlos III de Madrid
UNE	"Una Norma Española"



**Índice general**

1	CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	11
1.1	Introducción .....	11
1.2	Objetivo del proyecto .....	11
1.3	Estructura de la memoria .....	11
2	CAPÍTULO 2: LA COMPETICIÓN .....	15
2.1	Introducción .....	15
2.2	Historia .....	16
2.3	Categorías .....	18
2.4	Normativa aplicable .....	21
3	CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE .....	25
3.1	Introducción .....	25
3.2	El chasis .....	25
3.3	La carrocería .....	30
3.4	La aerodinámica .....	33
3.5	Los materiales .....	37
4	CAPÍTULO 4: ANTECEDENTES .....	41
4.1	Introducción .....	41
4.2	Shell Eco-UC3M .....	41
4.3	El motor .....	42
4.4	Diseños anteriores .....	43
5	CAPÍTULO 5: DISEÑO .....	49
5.1	Introducción .....	49
5.2	Diseño del carenado .....	49
5.3	Diseño del chasis .....	57
6	CAPÍTULO 6: ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	67
6.1	Introducción .....	67
6.2	Frenada .....	68
6.3	Aceleración .....	70
6.4	Aceleración lateral .....	72
6.5	Torsión .....	74
6.6	Test de barra antivuelco .....	78
7	CAPÍTULO 7: FABRICACIÓN .....	89
7.1	Introducción .....	89
7.2	Fabricación del carenado .....	89
7.3	Fabricación del chasis .....	91
7.4	Unión de chasis y carenado .....	98
8	CAPÍTULO 8: PRESUPUESTO .....	103
8.1	Introducción .....	103
8.2	Presupuesto carrocería .....	103
8.3	Presupuesto chasis modelo base .....	104
8.4	Presupuesto chasis actual .....	105
8.5	Presupuesto total .....	106
8.6	Presupuesto fabricación chasis proyecto llave en mano .....	107
9	CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES .....	111
10	CAPÍTULO 10: TRABAJOS FUTUROS .....	115
11	CAPÍTULO 11: BIBLIOGRAFÍA .....	119
11.1	Referencias .....	119
11.2	Bibliografía .....	120
	ANEXO I: PLANOS MECÁNICOS .....	123

## Lista de figuras

Ilustración 1: Circuito de Shell Eco-Marathon Europa.....	15
Ilustración 2: <i>Tabla real con los resultados de las primeras ediciones de la "Mileage marathon" desde 1939 hasta 1949.</i> ....	16
Ilustración 3: <i>Prototipo Remmi I que compitió en la Pisiralla Pisimmälle de 1976 y la Shell Mileage Marathon de 1977.</i> .....	17
Ilustración 4: Vehículo con el récord en prototipos a gasolina (St. Joseph La Joviliere de Francia) .....	17
Ilustración 5: Diferentes chasis tipo prototipo.....	18
Ilustración 6: Diferentes modelos de Urban Conept .....	19
Ilustración 7: Chasis en escalera .....	25
Ilustración 8: Chasis de un Cord de 1929 con refuerzos en X. ....	26
Ilustración 9: Chasis de columna DeLorean .....	26
Ilustración 10: Chasis de tubo central.....	27
Ilustración 11: Chasis perimétrico .....	27
Ilustración 12: Chasis plataforma .....	28
Ilustración 13: Chasis autoportante.....	28
Ilustración 14: Chasis tubular .....	29
Ilustración 15: chasis monocasco .....	29
Ilustración 16: Chasis típico de la década de 1910 fabricado en madera y metal .....	30
Ilustración 17: Ascari en 1950 .....	33
Ilustración 18: Räikkönen en 2008 .....	34
Ilustración 19: Esquema perfil alar .....	34
Ilustración 20: Primer Lotus con alerones de 1968 .....	35
Ilustración 21: Lotus con efecto suelo de 1978.....	35
Ilustración 22: Prototipo de la competición.....	36
Ilustración 23: Crash test material compuesto .....	38
Ilustración 24: Shell Eco UC3M Racer .....	41
Ilustración 25: Motor Honda GX-25 para prototipo .....	42
Ilustración 26: Soporte para motor de diseño anterior.....	43
Ilustración 28: Primer chasis fabricado para la UC3M.....	44
Ilustración 29: Diseño de carenado cerrado .....	44
Ilustración 30: Chasis tubular dirección trasera .....	45
Ilustración 31: Carenado y chasis de la propuesta antigua.....	45
Ilustración 32: Diseño base .....	46
Ilustración 33: Uniones de aluminio para piezas de fibra.....	50
Ilustración 35: Coeficiente de presión para el perfil del alzado .....	51
Ilustración 37: Coeficiente de presión del perfil de planta .....	52
Ilustración 38: Ratio v/V para el perfil del alzado no válido .....	53
Ilustración 39: Coeficiente de presión para el perfil del alzado no válido.....	53
Ilustración 40: Perfil de planta no válido .....	54
Ilustración 41: Diseño biconvexo.....	54
Ilustración 42: Representación 3D del carenado .....	55
Ilustración 43: Perfiles NACA de alzado y planta.....	56
Ilustración 44: Propiedades del 6063 T5.....	58
Ilustración 45: Cambios 1 .....	59
Ilustración 46: Cambios 2 .....	60
Ilustración 47: Cambios 3 .....	60
Ilustración 48: Diseño final renderizado .....	61
Ilustración 49: Puntos unión sistema dirección .....	62
Ilustración 50: Sistema de dirección básico .....	63
Ilustración 51: Montaje sistema fijación eje trasero .....	63
Ilustración 52: Puntos fijación y esquema rueda trasera .....	64

Ilustración 53: Ángulos variables en automóviles .....	64
Ilustración 54: Representación piloto y chasis .....	67
Ilustración 55: Tensiones en frenada .....	68
Ilustración 56: Deformaciones en frenada .....	69
Ilustración 57: Tensiones en aceleración .....	70
Ilustración 58: Deformaciones en aceleración .....	71
Ilustración 59: Tensiones en aceleración lateral .....	72
Ilustración 60: Deformaciones en ensayo lateral .....	73
Ilustración 61: Reparto cargas ensayo torsión 1 .....	74
Ilustración 62: Ensayo de torsión 1 .....	75
Ilustración 63: Ensayo de torsión 2 .....	76
Ilustración 64: Resultados del ensayo de torsión 2 .....	77
Ilustración 65: Ensayo 1 .....	78
Ilustración 66: Ensayo 2 .....	79
Ilustración 67: Ensayo 3 .....	80
Ilustración 68: Ensayo 4 .....	81
Ilustración 69: Ensayo 5 .....	82
Ilustración 70: Ensayo 6 .....	83
Ilustración 71: Plano general del modelo definitivo .....	86
Ilustración 72: Ejemplo de moldes de madera .....	89
Ilustración 73: Proceso de fabricación con moldes de madera .....	90
Ilustración 74: Chasis de aluminio para fabricación .....	91
Ilustración 75: Tubos cortados por láser .....	92
Ilustración 76: Máquina de corte por láser para perfiles extruidos .....	92
Ilustración 77: Fresadora CNC de tres ejes .....	93
Ilustración 78: Plano numerado del chasis .....	94
Ilustración 79: Cajetín de la norma de soldadura a seguir .....	96
Ilustración 80: Dobladora de tubos manual .....	97
Ilustración 81: Tubos de aluminio anodizado en colores .....	97
Ilustración 82: Bardana, planta en la que está inspirada el velcro .....	98
Ilustración 83: Pletina de nylon .....	99
Ilustración 84: Abrazadera de presión de Parker .....	99
Ilustración 85: Primera idea elemento fijación .....	99

### Lista de tablas

Tabla 1: Características principales de los Urban Concept .....	19
Tabla 2: Categorías según fuente propulsión .....	20
Tabla 3: Evolución histórica carrozados .....	32
Tabla 4: Resultados modelo base .....	46
Tabla 5: Resultados primer modelo .....	84
Tabla 6: Resultados segundo modelo .....	84
Tabla 7: Resultados tercer modelo .....	85
Tabla 8: Resultados cuarto modelo .....	85
Tabla 9: Resultados finales obtenidos .....	86
Tabla 10: Tramos de tubo del diseño .....	95
Tabla 11: Presupuesto carrocería .....	103
Tabla 12: Presupuesto modelo chasis base .....	104
Tabla 13: Presupuesto chasis desarrollado .....	105





# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS



## 1 CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1 Introducción

El presente trabajo de fin de grado, a partir de ahora TFG, trata sobre el estudio y diseño de un chasis prototipo y un carrozado para la competición Shell Eco-Marathon, a partir de ahora denominada SEM.

El presente documento trata sobre el diseño y estudio de fabricación del chasis y carenado para el prototipo destinado a competir en la Shell Eco-Marathon en representación de la Universidad Carlos III de Madrid. Este diseño pertenece a la asociación Shell Eco-UC3M, en la cual se trabaja en el desarrollo de un vehículo para la Shell Eco-Marathon en la categoría de prototipos con motor de gasolina.

Shell Eco-Marathon es una concentración que se celebra anualmente en América, Asia y Europa, donde se reta a los equipos participantes formados por estudiantes a diseñar, construir y conducir el vehículo más eficiente. El ganador es aquel que consigue recorrer una distancia estipulada por la organización empleando la menor cantidad de energía, es decir, el vehículo con la mayor eficiencia energética.

Esta competición ha conseguido las mejores marcas de eficiencia energética en la actualidad.

Destacar desde el principio, que el título de este proyecto no define bien todo lo que contendría, dado que como se verá en lo sucesivo, este trabajo también abarca el diseño de un nuevo chasis.

### 1.2 Objetivo del proyecto

El objetivo de este trabajo es el diseño y estudio de fabricación de un chasis y carenado óptimo que cumpla las características de la competición SEM, esto es, contribuir a minorar el consumo energético mediante la aerodinámica y la reducción de peso.

Se puede fijar que el objetivo este trabajo se divide en dos partes principales, la primera el diseño de un chasis que pueda ser fácilmente construible en cualquier empresa de calderería y un carenado adecuado al diseño del chasis anterior. El segundo objetivo se resume en el estudio del proceso de fabricación más adecuado a los elementos anteriormente diseñados y le obtención de un presupuesto real de dichos procesos.

El diseño estará sujeto a las condiciones impuestas por la competición, las limitaciones derivadas del diseño de otras partes del vehículo realizadas por otros miembros integrantes, así como las posibilidades disponibles de simulación y la fabricación por parte de la universidad Carlos III. Se tomará como predecesores los diseños obsoletos por otros integrantes del equipo dedicado a esta competición.

Por ello, este proyecto se ha realizado con la colaboración del resto de integrantes de la asociación Shell Eco-UC3M y optimizando los recursos, como puede ser la realización de un estudio aerodinámico mediante software CFD (Computed Fluid Dynamics), estudio estructural mediante un programa de FEA (Finite Element Analysis) y presupuesto del proyecto con colaboración de empresas.

### 1.3 Estructura de la memoria

En este apartado se explican los diferentes capítulos de los que se compone esta memoria con el fin de facilitar su lectura.

En este primer capítulo tiene lugar una **introducción general** (pág.11) al proyecto y se explica brevemente el objetivo y alcance del mismo.

El siguiente capítulo trata sobre la competición historia, condiciones, localización y normativa de la **Shell Eco-Marathon Europa** (pág. 15). El punto más importante de este capítulo es la normativa, que afecta tanto al diseño como a la seguridad del vehículo y es el primer condicionante de la geometría del mismo. Se describen también todas las categorías existentes y sus diversidades. Este segundo capítulo es en el fondo meramente de carácter descriptivo.

El tercer capítulo, el **estado del arte** (*pág. 25*) trata sobre los conceptos teóricos aplicados a los vehículos que atañen a este documento. Empezando por un repaso a la historia de la aerodinámica en automovilismo pasando por diferentes tipos de chasis usados en la actualidad y acabando con una pequeña descripción de los materiales más usados en este tipo de equipos. Este capítulo servirá como principio de la teoría aplicada al diseño del proyecto.

El cuarto capítulo aborda una parte muy importante del proyecto, y son los **antecedentes** (*pág. 38*), los trabajos previos a este documento y de los cuales se toman referencias importantes.

Los capítulos más importantes a nivel técnico son los tres siguientes, quinto, sexto y séptimo. En estos tres capítulos, **diseño** (*pág. 43*), **análisis y resultados** (*pág. 67*) y **fabricación** (*pág. 67*) respectivamente se detallan los criterios de diseño, los ensayos asociados y los resultados obtenidos para la obtención del resultado final. Estos dos pasos siempre tienen en cuenta el factor de fabricación, pues como ya se indicaba en el objetivo de este TFG, una de las principales cuestiones es diseñar un prototipo real y lo más económico posible.

Todo el trabajo realizado en los capítulos anteriores se traduce en el **presupuesto** de fabricación (*pág. 103*), el cual está contemplado en el octavo capítulo.

Por último, los dos capítulos finales de este documento tratan sobre la **conclusión** (*pág. 107*) y **trabajos futuros** (*pág. 113*).

Los dos anexos adjuntos en último lugar recogen la bibliografía y planos mecánicos (*pág. 115 y 123 respectivamente*).





## CAPÍTULO 2: LA COMPETICIÓN



## 2 CAPÍTULO 2: LA COMPETICIÓN

### 2.1 Introducción

El siguiente capítulo trata sobre la competición a la que va destinado este proyecto, la Shell Eco-Marathon.

La SEM es una competición creada por la empresa de hidrocarburos anglo-neerlandesa *Shell* [1] con unos fines claros: diseñar, construir y conducir el vehículo más eficiente posible desde el punto de vista energético.

Esta competición desafía a estudiantes de todo el mundo para conseguir construir el vehículo que llegue a la meta consumiendo la menor cantidad de energía. Actualmente se celebran ediciones de esta competición en tres continentes diferentes. América, Europa y Asia reta a sus estudiantes de universidades y otros centros de estudios entre sí anualmente.

En cuanto a la SEM se lleva disputando en los últimos años en el circuito Ahoy de la ciudad holandesa de Rotterdam a partir de la segunda quincena de Mayo. Sin embargo, hay otros dos eventos anuales en otros dos continentes. A finales de febrero tiene lugar la competición de Asia, en Filipinas, y en la primera quincena de Abril, la SEM Américas, disputada en Detroit (Estados Unidos).

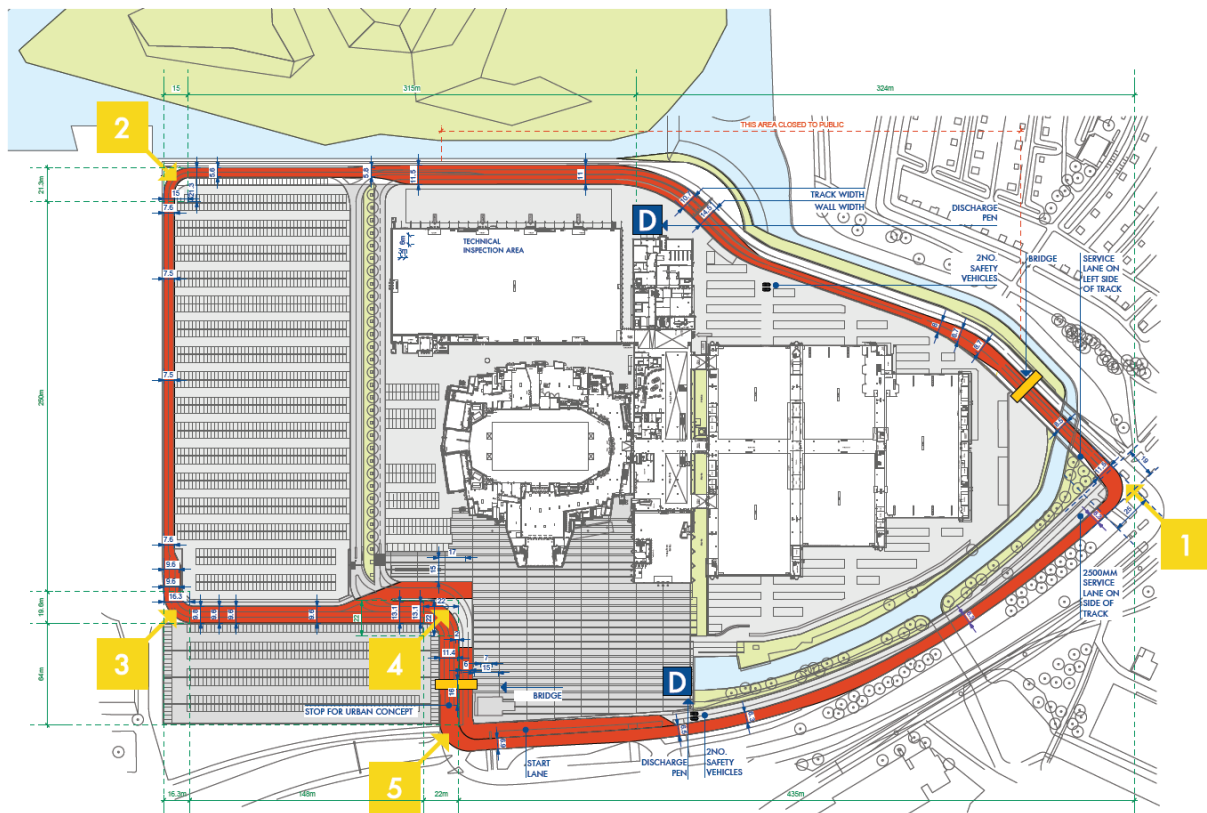


Ilustración 1: Circuito de Shell Eco-Marathon Europa

## 2.2 Historia

En 1833, Marcus Samuel, el fundador de la "Royal Dutch Shell" añadió a su negocio de conchas marinas la exportación de aceite desde oriente, lo cual acabó originando que su compañía llegara a ser una de las más importantes en el sector de la industria energética.

Aproximadamente cien años más tarde, en el laboratorio de investigación que tenía la refinería de Wood River de Shell en Illinois (Estados Unidos), unos científicos de la plantilla apostaron en ver quién conseguía aguantar el mayor número de millas con un solo galón de combustible en el depósito de su propio vehículo. El ganador obtuvo el gran resultado para la época de apenas 49.7 MPG (21,12 Km por litro). La "Mileage Marathon" empezó a repetirse a lo largo de los años y los participantes pronto fueron mejoraron su registros, por ejemplo diez años más tarde, y con la Segunda Guerra Mundial de por medio, el resultado del vencedor prácticamente se triplicó hasta las 149.95 MPG (63.75 Km/L). Estas apuestas entre empleados fue el comienzo de la Shell Eco-Marathon, por lo tanto, se puede datar que esta competición comenzó en 1939.

Este certamen se siguió repitiendo con normalidad durante los años, hasta que en 1973 comenzó la crisis del petróleo tras la decisión de no exportación a los países que apoyaron a Israel en la guerra del Yom Kippur (Europa Occidental y Estados Unidos) por parte de los países árabes. Esto aumentó la conciencia de mejorar la eficiencia energética y a los pocos años surgieron las primeras competiciones de prototipos de bajo consumo [2].

TABLE 1 RESULTS OF SIX MILEAGE MARATHONS (FIRST THREE CARS AND AVERAGE OF ALL CARS)								
Finishing* Position	Driver and Team	Make	Year	Weight	Fuel Allotted Gal.	MPG Achieved	Ton. MPG Achieved	Avg. Speed MPG
1939 MILEAGE MARATHON								
1	Greenshields	Plymouth	1939	2880	0.582	49.73	71.5	-
2	Baggeman	Willys	1938	2475	0.493	48.45	54.6	-
3	Farnstrom	Chevrolet	1936	3010	0.557	37.13	55.9	-
Average for all entrants (25 cars)				3057	0.563	28.8	43.4	-
1940 MILEAGE MARATHON								
1	Baggeman	Ford V-8	1940	3070	0.559	55.7	85.6	-
2	Greenshields	DeSoto	1937	3375	0.643	47.5	80.2	-
3	Berry	Auburn	1936	4050	0.860	32.2	65.2	-
Average for all entrants (20 cars)				3100	0.575	36.98	56.8	-
1941 MILEAGE MARATHON								
1	Berry - Paley	Auburn	1936	4050	0.810	58.82	119.9	22.1
2	Greenshields	DeSoto	1937	3375	0.655	64.18	108.3	19.7
3	Texada	Studebaker	1939	3475	0.684	61.92	107.5	19.6
Average for all entrants (26 cars)				3080	0.603	52.35	80.5	20.3
1942 MILEAGE MARATHON								
1	Greenshields	DeSoto	1937	3375	0.6165	86.3	148.8	14.95
2	Johnston - Schuette	Studebaker	1940	2580	0.5604	83.4	107.5	13.35
3	Schramm	Ford V-8	1939	3120	0.5982	75.6	117.9	19.80
Average for all entrants (29 cars)				3193	0.6038	56.48	89.8	18.38
1948 MILEAGE MARATHON - CLASS A								
1	Greenshields	DeSoto	1937	3515	0.6273	78.22	150.4	15.9
2	Mayfield - Franich	Pontiac 6	1937	3545	0.6295	71.37	126.5	14.5
3	Tuell - Watson	Ford V-8 (60)	1937	2805	0.5759	70.26	99.5	14.0
Average for all Class A entrants (5 cars)				3410	0.6216	63.66	109.4	15.2
1948 MILEAGE MARATHON - CLASS B								
1	Yust	Pontiac 6	1948	3680	0.6395	71.55	131.7	14.9
2	Sims	Studebaker	1947	3430	0.6213	65.87	113.0	16.7
3	Sprague - Welch	Ford 6	1948	3260	0.6112	57.81	94.8	14.0
Average for all Class B entrants (24 cars)				3450	0.6233	44.02	75.7	16.8
1949 MILEAGE MARATHON - CLASS A								
1	Greenshields	Studebaker	1947	3080	0.6043	149.95	240.0	16.3
2	Berry - Schuette	Chevrolet 4	1924	2180	0.5022	158.36	198.9	14.6
3	Mayfield - Franich	Chevrolet	1948	3320	0.6353	93.76	172.0	15.3
Average for all Class A entrants (4 cars)				2900	-	121.84	188.4	15.0
1949 MILEAGE MARATHON - CLASS B								
1	Ryan	Chevrolet	1938	3220	0.6183	81.19	137.7	13.0
2	Texada	Studebaker	1947	3600	0.6847	75.99	140.5	14.4
3	Fink - Cordera	Chevrolet	1947	3300	0.6380	74.40	156.3	16.1
Average for all Class B entrants (26 cars)				3390	-	59.51	109.1	14.2
*Finishing positions determined by the Distance Traveled (last column) which is based on car weight.								

Ilustración 2: Tabla real con los resultados de las primeras ediciones de la "Mileage marathon" desde 1939 hasta 1949.

En 1976 se organiza en Finlandia la primera Pisaralla Pisimmälle, cuyo nombre se puede traducir como "hasta la última gota" y en 1977 se organiza en Mallory Park, en Reino Unido, la primera "SHELL MILEAGE MARATHON", la cuál es la primera edición oficial de esta competición que años más tarde pasaría a ser la Shell Eco-Marathon de ahora. Para ese cambio de nombre hay que esperar a 1985, fecha de la primera edición de esta competición con el actual nombre en el circuito de Paul Ricard (Francia).



Ilustración 3: Prototipo Remmi I que compitió en la Pisaralla Pisimmälle de 1976 y la Shell Mileage Marathon de 1977.

Con los años aparecieron el resto de ediciones de los otros continentes y se fueron ampliando las categorías participantes que antaño se restringieron únicamente a los vehículos a gasolina. En 2002 la demanda existente incluyó la categoría de coche solar, la cual abrió la puerta a la incorporación de categorías con vehículos propulsados por combustibles no fósiles. En 2003 se añadió la categoría de "Urban Concept", diseños con un perfil más real a los vehículos de fábrica, los cuales se asemejan más a los modelos usados en la década de los años cuarenta.

Los resultados que obtienen los equipos de estudiantes de la actualidad difieren mucho de los obtenidos por los padres de esta competición. El record absoluto, lo sustenta el equipo francés Polyjoule de la Universidad Politécnica de Nantes. Consiguió una distancia equivalente de 4896.1 km/L con un vehículo propulsado por pila de hidrógeno. Teniendo en cuenta que en 1939 el combustible era la gasolina, el récord en la categoría de vehículos propulsados a gasolina actualmente es desmesuradamente mayor que el primer resultado registrado. Dicho récord actual está en 3314.9 Km/L, por el Liceo Industrial y Tecnológico St. Joseph La Joliviére de Francia.

No obstante, la cifra ganadora en la edición del 2015 fue de 2308.3 Km/L en la categoría de prototipos a gasolina. Son estas cifras las que se deben tomar como referencia en el diseño del prototipo para la Universidad Carlos III, pues son los resultados a batir. [3]



Ilustración 4: Vehículo con el récord en prototipos a gasolina (St. Joseph La Joliviére de Francia)



## 2.3 Categorías

La SEM se divide en dos categorías principales dividiendo los vehículos participantes según su chasis. Estos dos tipos de chasis se denominan "Urban Conept" y "Prototipos". A su vez, dentro de cada categoría los vehículos se dividen según su tipo fuente de propulsión.

### 2.3.1 Prototipos

Los vehículos de esta categoría son los más eficientes, son muy ligeros, en muchos casos el prototipo sin piloto no alcanza los 50 Kg. Suelen ser de tres ruedas, con formas muy aerodinámicas que difieren mucho de los vehículos convencionales que se pueden ver circulando por las calles, y en los cuales el piloto suele ir de la forma más horizontal posible. Normalmente eran prototipos cerrados, aunque también los había abiertos (sin carenado), pero por cambios en la normativa ahora deben ser obligatoriamente cerrados. También es obligatoria la dirección en el eje delantero (dos ruedas directrices).

Son vehículos centrados principalmente en la reducción de la resistencia al avance para aumentar al máximo posible la eficiencia. No requieren de la instalación de luces ni otros sistemas que los permitan circular por carreteras convencionales abiertas al tráfico.

El proyecto del Shell Eco-UC3M está orientado dentro de esta categoría, por ello profundizaremos más en este tipo. Los materiales más usados suelen ser la fibra de carbono, fibra de vidrio, aluminio, madera y polímeros ligeros.

Las características básicas, establecidas por la organización, son las siguientes:

- A. La altura tiene que ser inferior a los 1000 mm.
- B. El ancho debe estar entre unos valores de 500 mm y 1300 mm.
- C. El peso máximo, sin incluir conductor, no debe sobrepasar los 140 Kg.
- D. La longitud total del vehículo no debe superar los 3500 mm.
- E. La base debe ser de al menos 1000 mm.
- F. El exterior del vehículo no debe presentar apéndices ni bordes cortantes.



Ilustración 5: Diferentes chasis tipo prototipo

## 2.3.2 Urban Conept

Incorporados a la competición en el año 2003, esta categoría busca diseños más prácticos que se ajusten más a los vehículos de mercado. Es obligatorio que los modelos lleven características básicas de diseños de fabricación en serie, por tanto son modelos más altos, cortos, anchos y más pesados.

Estas características diferenciadoras se pueden resumir en las siguiente tabla.

Característica	Repercusión
Posición sentada del conductor	Altura máxima mayor
Puertas de acceso	Aumento de peso
Uso de luces	Aumente de peso
Uso de limpiaparabrisas	Aumento de peso y reducción de la aerodinámica
Uso de retrovisores externos	Aumento de peso y reducción de la aerodinámica
Cuatro ruedas	Mayor resistencia al avance

Tabla 1: Características principales de los Urban Conept



Ilustración 6: Diferentes modelos de Urban Conept

Estos modelos más prácticos obtienen resultados más modestos, pero sirven como inspiración para futuros modelos reales de mayor eficiencia. Como ejemplo, el ganador de la pasada edición del 2015 en Urban Concept de gasolina obtuvo una marca de 517.3 Km/L. [4]

### 2.3.3 Tipos de propulsión

Independiente del tipo de chasis que se utilice, existen varias categorías dentro de las dos principales ya mencionadas que se dividen según el tipo de propulsión usada.

Todos los resultados obtenidos según la fuente de energía se transforman al equivalente de litros de gasolina de 95 por kilómetro, así se pueden comparar los resultados de todas las categorías.

Los tipos de propulsión son los siguientes.

<b>Gasolina 95</b>	El más utilizado en toda la competición por el bajo coste de los motores y el combustible.
<b>Diesel</b>	De menor popularidad en la competición. Los resultados no superan a los de motores a gasolina.
<b>Ethanol</b>	Motores de combustión a base de etanol.
<b>GTL 100%</b>	Motores de combustión que usan como combustible gas natural (principalmente metano) convertido a líquido mediante procesos catalíticos.
<b>CNG</b>	Motores de combustión de gas metano.
<b>Baterías eléctricas</b>	Motores 100% eléctricos que usan baterías para alimentar un motor eléctrico. La energía de las baterías se puede obtener de placas fotovoltaicas.
<b>Pila de hidrógeno</b>	Los motores eléctricos se alimentan mediante la transformación de hidrógeno en electricidad mediante pilas de combustible.

Tabla 2: Categorías según fuente propulsión



## 2.4 Normativa aplicable

Antes de comenzar con el diseño de este nuevo prototipo hay que pararse a ver los límites impuestos por la normativa de la competición.

Como se ha indicado anteriormente, el vehículo que se va a diseñar entra en la categoría de prototipos con motor a gasolina. Como se indicaba en el objetivo del proyecto, este trabajo está destinado al diseño de un chasis y un carenado para la competición, por lo que nos centraremos en las reglas que apliquen directamente, tanto en límites de diseño como en seguridad, sin descuidar el resto de capítulos para que el diseño no interfiera en otros campos.

Siguiendo la normativa, el primer artículo que afecta al diseño del chasis es el peso del piloto (artículo 20). Este debe ser superior a los 50 Kg. Es por esto, que si el piloto no alcanza dicho peso se deberán colocar lastres hasta salvar la diferencia, por lo tanto el diseño deberá disponer de espacio suficiente para estos posibles lastres.

El artículo 25, diseño del vehículo indica las pautas básicas de diseño que deben tener todos los vehículos participantes. Por ejemplo, están prohibidos los apéndices aerodinámicos, las aristas vivas, los bordes cortantes, elementos sueltos en el interior. Los cristales no pueden estar fabricados en un material que se pueda romper en muchas partes afiladas. El capó motor debe ser fácilmente extraíble para cualquier tipo de inspección. Todos los vehículos deben tener un suelo rígido y estar completamente cerrados, ya no se permiten los carenados abiertos como en años anteriores.

Los siguientes artículos, desde el 26 al 39 afectan directamente al diseño del chasis y del carenado. Por ejemplo, la necesidad de anclar cinturones de seguridad de cinco puntos (art. 29), aislamiento térmico y sonoro de la unidad de propulsión al cockpit (habitáculo del piloto), por ello será necesario que el material aislante sea ignífugo para evitar el riesgo de incendio (art. 27).

Destacar el artículo 28, la visibilidad del piloto. Se debe proporcionar un ángulo de visión de al menos 90°, retrovisores de al menos 25 cm<sup>2</sup>, y el casco del piloto debe quedar al menos a 5 cm de la barra antivuelco. Este artículo afecta directamente al diseño del carenado.

Por último, el artículo 26 (solidez del chasis) y el artículo 39 (dimensiones para prototipos) marcan el diseño del chasis. Este se debe hacer en materiales rígidos y de tal forma que protejan al piloto en caso de accidente. La barra antivuelco debe soportar esfuerzos de 700 N (70 Kg aprox.) en cualquier dirección sin deformarse. [a]





## CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE



### 3 CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE

#### 3.1 Introducción

En el presente capítulo se describen conceptos fundamentales que se deben conocer para el desarrollo del objetivo del proyecto.

#### 3.2 El chasis

Se define el término chasis como el armazón que sostiene el motor y la carrocería de un vehículo.

Siendo más concretos, un chasis es una estructura interna que sostiene, aporta rigidez y da forma a un vehículo o construcción. Se le puede ver como el equivalente al esqueleto humano en una máquina. [8]

Respecto a los vehículos, el chasis es el elemento principal de unión y sustentación de los diferentes elementos que lo forman. Une el grupo motopropulsor, los sistemas de suspensión y la respectivas ruedas, la carrocería, la dirección y el resto de elementos de confort, así como sostener el peso de los ocupantes y su carga. Por lo general, en el campo del automovilismo se suele usar el sinónimo de bastidor.

Además de ser una estructura de soporte, el chasis es uno de los primeros elementos de seguridad pasiva en un vehículo, es el encargado de absorber la energía en un impacto para evitar daños en los ocupantes.

Respecto al diseño de este documento, el chasis será el elemento más básico y fundamental, pues se encargará de dar forma al prototipo y generar el habitáculo del piloto. El chasis será el responsable del principal elemento de seguridad. [i] [j]

##### 3.2.1 Tipos de chasis

Existen diversos tipos de chasis o bastidores. Estos fueron apareciendo a lo largo de la historia según los avances tecnológicos y las necesidades de la época.

A continuación se describirán los diferentes tipos existentes.

##### 3.2.2 En escalera

Es el modelo más antiguo de todos, pues ya se usaba en la fabricación de carros de caballos, por lo tanto es el más sencillo.

Consiste en dos largueros de metal que forman la longitud del vehículo. Estos dos largueros se unen mediante travesaños desde la parte frontal hasta la trasera. A los largueros se sujeta el motor, la carrocería, la suspensión, dirección y resto de elementos del automóvil. La carrocería se suele unir mediante tornillería y juntas elásticas.



Ilustración 7: Chasis en escalera

Con el tiempo, la forma clásica de largueros y travesaños rectos se fue modificando por formas más complejas que mejoraran las prestaciones. Se introdujeron refuerzos en forma de "X" para aumentar la rigidez de las estructuras.

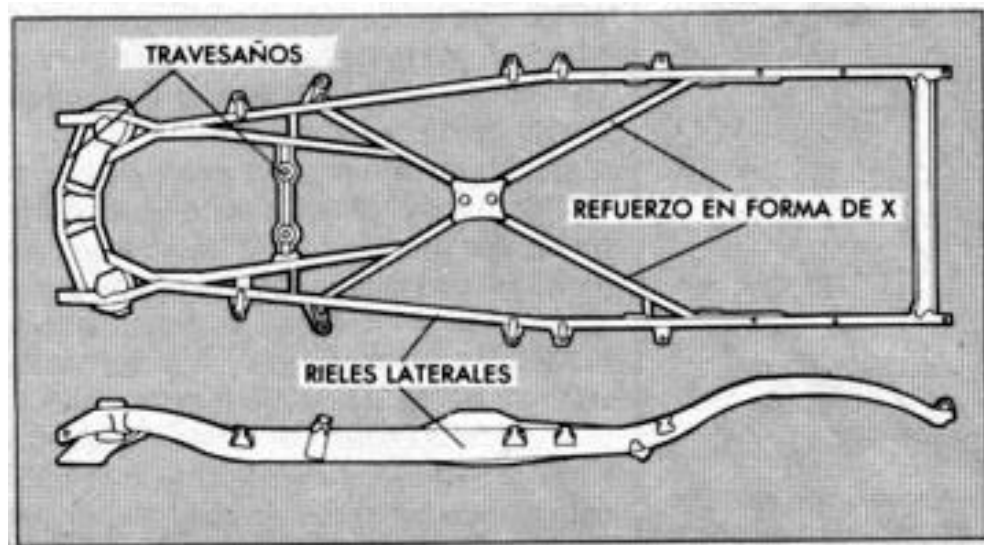


Ilustración 8: Chasis de un Cord de 1929 con refuerzos en X.

Estos chasis se usan en la actualidad para vehículos industriales, autobuses y todoterrenos puros, ya que otros tipos lo han relegado en la fabricación de automóviles más ligeros y compactos.

### 3.2.3 De columna

Se trata de un bastidor que se estrecha en la parte central, lo que produce un aumento de la rigidez. Además, estos tipos de chasis facilitan la forma de anclar la suspensión delantera. Este tipo de chasis se asemeja a una doble "Y".

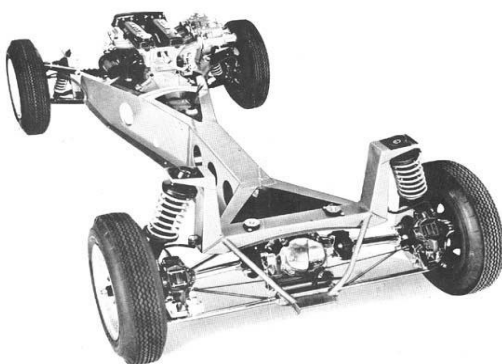


Ilustración 9: Chasis de columna DeLorean

Por ejemplo, el clásico de cine, el DMC DeLorean montaba un chasis de columna en aluminio, lo que daba una gran ligereza.

### 3.2.4 De tubo central

Consiste en un tubo en el centro que se encarga de unir dos puentes, estos puentes son las sujeciones de los dos ejes. El primero modelo que se fabricó de esta forma usaba la cubierta del eje de transmisión como chasis, es decir que la unión entre motor y diferencial era la base del vehículo.

Este tipo es de poco uso, empleándose para modelos deportivos que buscan ser muy ligeros y que se adapten a terrenos irregulares. Por ejemplo, el Renault Alpine A110 montaba un chasis de este tipo.



Ilustración 10: Chasis de tubo central

### 3.2.5 Perimétrico

Otro chasis derivado del de tipo escalera es el perimétrico, el cual se caracteriza por tener un ensanchamiento en la zona del conductor para protegerlo de impactos laterales. Además, los bastidores de este tipo bajan el centro de gravedad del vehículo, los extremos suelen estar más elevados, lo que añade mayor resistencia a los impactos frontales y traseros.

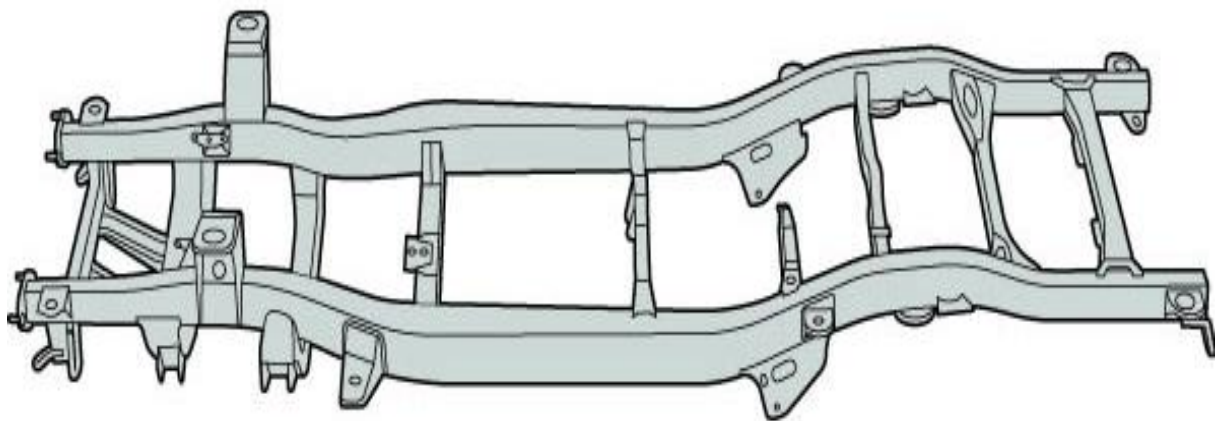


Ilustración 11: Chasis perimétrico



### 3.2.6 Plataforma

Consiste en una serie de chapas de acero unidas que forman el fondo del vehículo. Su principal ventaja es la versatilidad, un mismo chasis es válido para varias carrocerías.

En la actualidad este tipo de chasis está en desuso, pero su evolución, los chasis autoportantes son los más empleados.

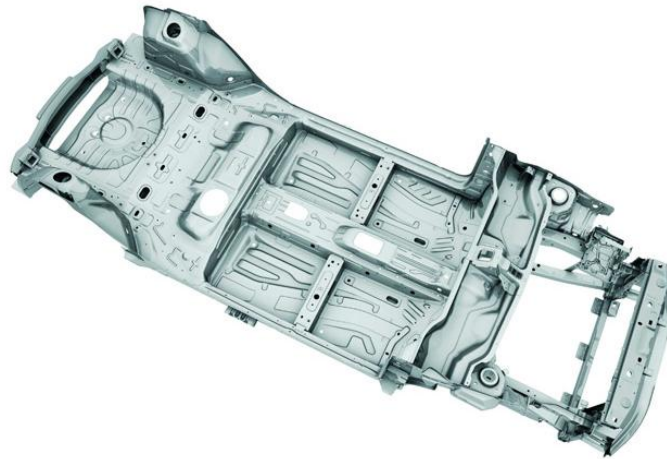


Ilustración 12: Chasis plataforma

### 3.2.7 Autoportante

Los bastidores autoportantes están formados por chapas soldadas o remachadas a un chasis de plataforma, de esta forma se aumenta la rigidez y se obtiene un diseño más ligero. Con este tipo de chasis, las carrocerías se limitan a láminas metálicas de pequeño espesor.

Estos modelos aumentan la seguridad, la dinámica del vehículo, y reducen costes. En la actualidad casi todos los vehículos de fábrica usan chasis de este tipo.



Ilustración 13: Chasis autoportante



### 3.2.8 Tubular

Esta clase está formada por tubos huecos soldados que forman estructuras tipo celosía. Ofrecen una resistencia y una eficiencia bastante buena, sin embargo son caros y dificultan el acceso a alguno componentes.

Son muy usados en la fabricación de motocicletas y deportivos por su relación peso-resistencia.



Ilustración 14: Chasis tubular

Este tipo de chasis es el usado para el diseño del prototipo que desarrolla este documento.

### 3.2.9 Monocasco

Este tipo de chasis está fabricado en una sola pieza. Los chasis monocasco también funcionan como carrocería, se encargan de dar la forma al vehículo. Ofrecen una gran resistencia y son los más ligeros, pero su coste es muy elevado.

Estos chasis se suelen fabricar en materiales compuestos. Su uso se reduce a vehículo de competición, como por ejemplo los monoplazas. El primer chasis monocasco en fibra de carbono se usó en 1983 en el monoplaza de McLaren MP4/1C.



Ilustración 15: chasis monocasco

### 3.3 La carrocería

Se define carrocería como la parte exterior metálica de un vehículo que recubre el motor y otros elementos y en cuyo interior se instalan los pasajeros y la carga. [13]

Con el paso del tiempo se han ido introduciendo transformaciones constantemente con dos objetivos fundamentales:

- Obtener más confort y velocidad con menos potencia y consumo; por esta razón se ha desarrollado la aerodinámica de los vehículos en busca de mejores coeficientes de penetración.
- Conseguir un habitáculo más seguro para los pasajeros, lo que llevó al diseño y construcción de carrocerías autoportantes, estas carrocerías absorben mejor el impacto de una colisión mediante la deformación progresiva y controlada de las partes delantera y trasera del vehículo, sin que afecte al compartimento destinado a los pasajeros.

Como ya se enunciaba en el apartado anterior, hay diferentes tipos de carrocerías según el chasis donde se acoplan. Si bien había diversos tipos de chasis, de carrocerías encontramos cuatro grupos.

- Carrocerías independientes: se unen al chasis mediante tornillería. Se utilizan en chasis independientes, los cuales corresponden al de escalera, de columna, de tubo central y perimétrico.
- Carrocerías sin plataformas: Estas se utilizan en chasis tipo plataforma. Son muy similares a las anteriores salvo por el suelo.
- Carrocerías autoportantes: Como ya se indicaba, se pueden denominar como chasis, puesto que son la misma pieza. En este tipo, solo algunos paneles del exterior (como por ejemplo aletas y techo), puertas, parachoques y motor se pueden considerar pura carrocería.
- Carrocerías monocasco: Equivalen al chasis monocasco, carrocería y chasis son una misma pieza estructural indivisible.

A lo largo de la historia han ido variando mucho. Los antecedentes los encontramos en los carros a caballo, donde comenzó este negocio. Se fabricaban cubiertas para los carros en madera, mimbre y textiles, todos fabricados a mano y cada uno según la forma deseada por el cliente.

Con los años, la comercialización de carruajes se fue extendiendo, se comenzaron a fabricar modelos de catálogo a los que se fueron acuñando nombres como faetón, berlina, lando, birlocho y vagón. Se perdió el trabajo artesanal personalizado y se comenzó con la industrialización.

Con la aparición de los primeros automóviles, las carrocerías solo variaron su forma para albergar el motor, manteniendo la estructura del habitáculo, hasta que en 1900 comenzaron a trabajar con metales. Hasta esta fecha casi todos los diseños eran muy parecidos, como los antiguos carruajes. Fue a raíz de este cambio de materiales cuando las formas fueron cambiando mucho, cada fabricante tenía sus propios diseños únicos y caracterizadores. [1]

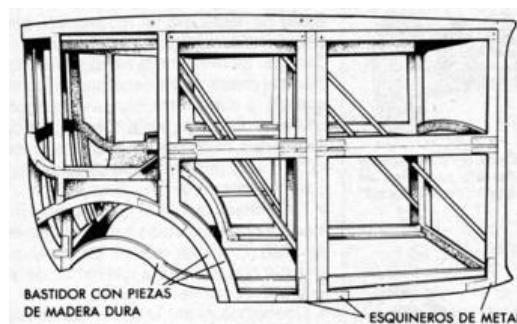
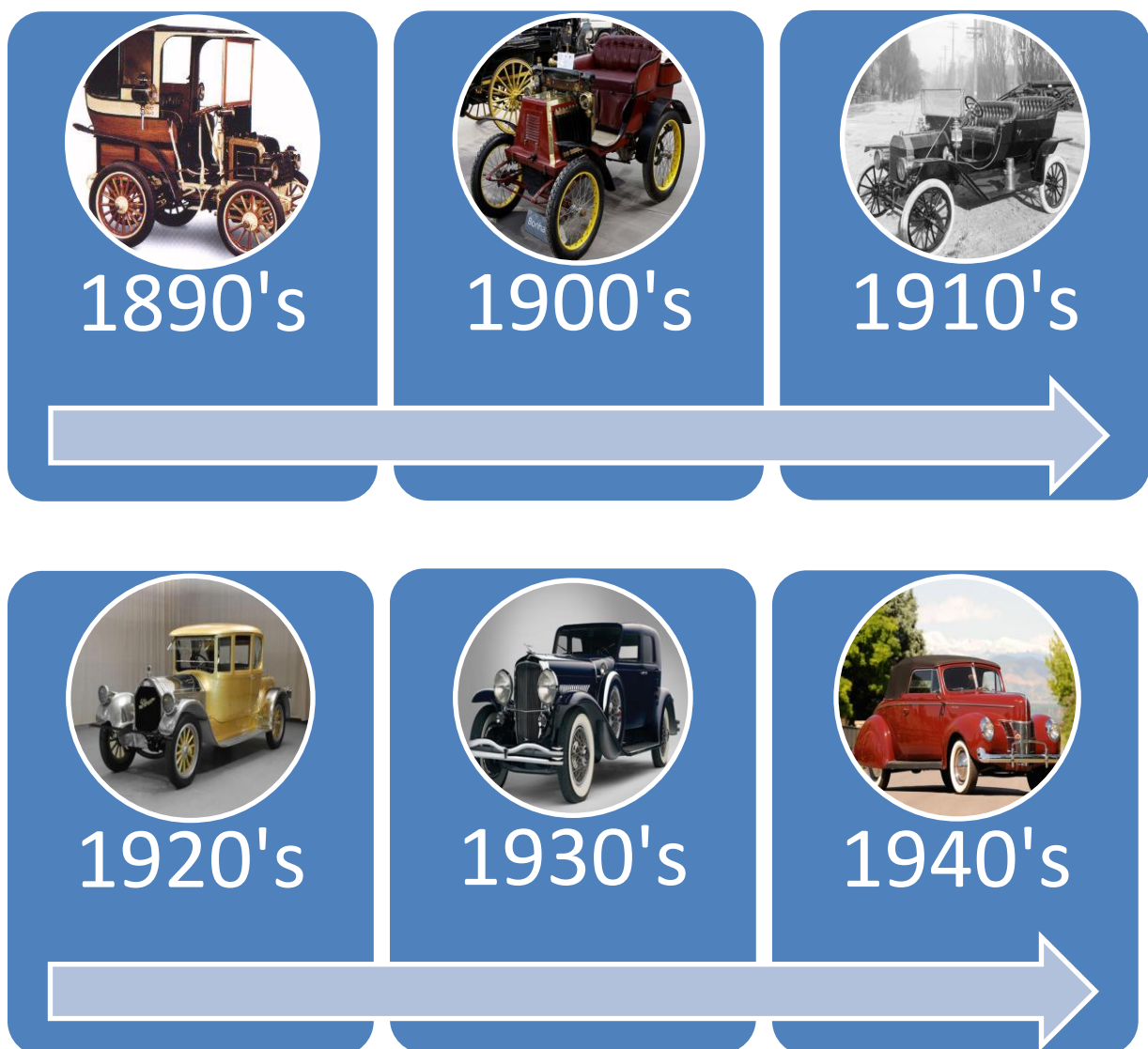


Ilustración 16: Chasis típico de la década de 1910 fabricado en madera y metal

Entre 1900 y 1920 las técnicas de fabricación de carrozado experimentaron un avance tecnológico muy grande. Los diseñadores investigaban con nuevas técnicas de fabricación y diseños radicales, de tal forma que la gran parte de las técnicas de carrozado se experimentaron en estas dos décadas. Se comenzó a trabajar con carrocerías de acero y aluminio mucho antes que en los chasis, que seguían siendo de madera a comienzos del siglo XX.

Los carrozados cubiertos tipo sedán eran poco corrientes en los orígenes, por no decir que casi no se comercializaban. Fue a partir de la primera guerra mundial cuando ganaron atractivo al descubrirse técnicas de fabricación que abarataban los costes, pues hasta entonces un automóvil cerrado llegaba a ser un 50% más caro que uno descubierto.

Los diseños fueron cambiando con los años, principalmente buscando aligerar peso, ganar resistencia, seguridad y maniobrabilidad del vehículo. Con los años apareció una variable más a la ecuación, la aerodinámica, que si bien al principio era algo que apenas se tenía en cuenta, los avances en el mundo de la competición y el aumento de la potencia de los motores hizo que pasase a ser uno de los factores más importantes.



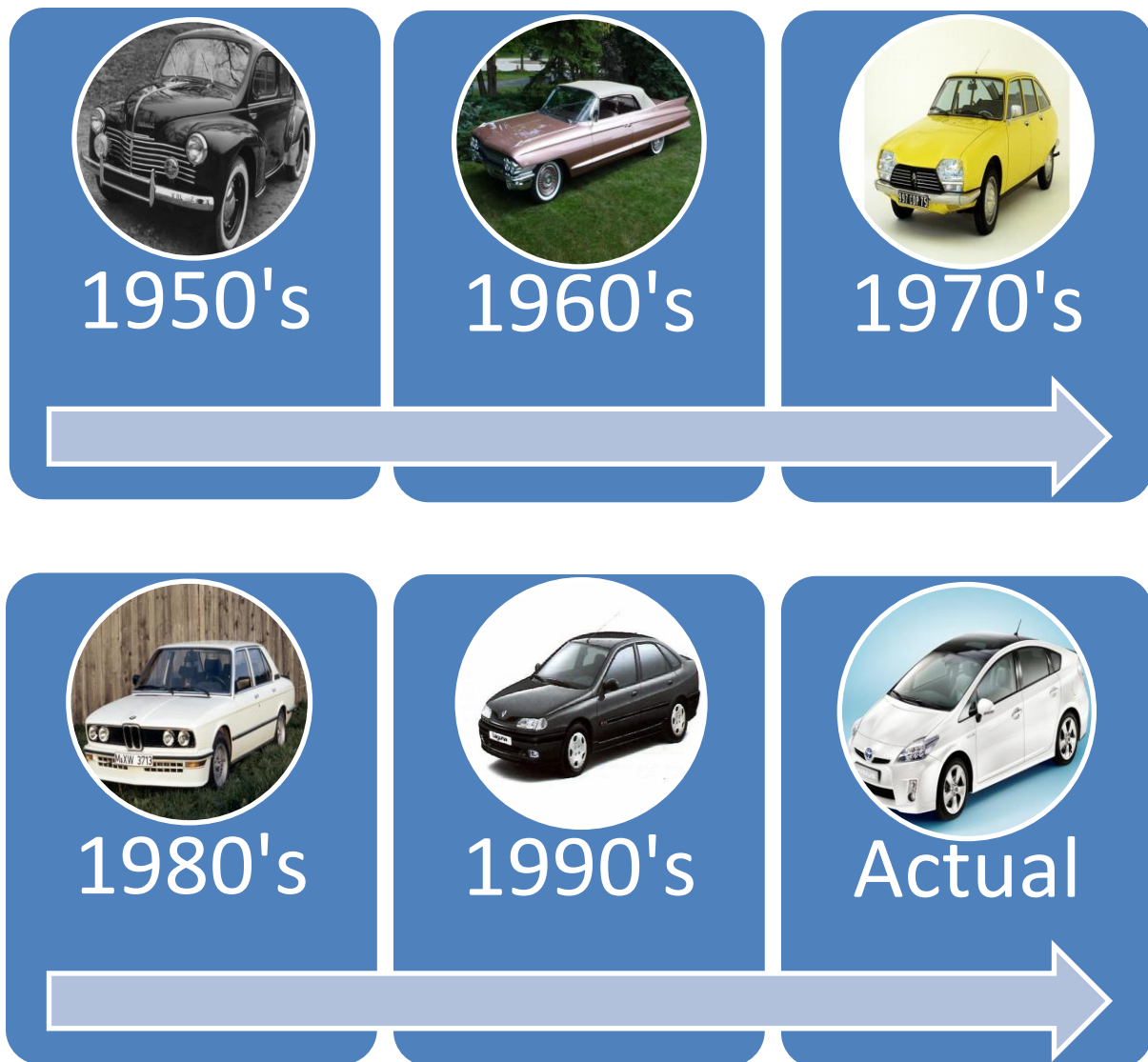


Tabla 3: Evolución histórica carrozados

En la gráfica anterior se puede apreciar de forma visual como han ido cambiando estas estructuras. Como se ha enunciado, la aerodinámica ahora es un papel fundamental, por ello se le dedica el siguiente apartado de este capítulo, pues como indica este documento, para el diseño del carenado del prototipo es muy importante el factor aerodinámico.

Al igual que la aerodinámica, los materiales también se han ido cambiando con el tiempo. Desde la madera, pasando por el acero, el aluminio a los materiales compuestos, como por ejemplo la fibra de vidrio y la fibra de carbono.

### 3.4 La aerodinámica

La aerodinámica es la rama de la mecánica de fluidos especializada en el cálculo de las acciones que aparecen sobre los cuerpos sólidos cuando existe un movimiento relativo entre estos y el fluido en el que se desplazan.

Para determinar estas acciones, las cargas aerodinámicas, en esta disciplina, como en todas las ciencias de la ingeniería, es preciso llegar a un compromiso entre la realidad física y las simplificaciones necesarias que exige el tratamiento matemático del modelo del problema. En aerodinámica el punto de partida son la ecuación de continuidad, las ecuaciones que expresan el balance de cantidad de movimiento según cada uno de los ejes del sistema de referencia (conocidas como ecuaciones de Navier-Stokes en el caso general, y como ecuaciones de Euler cuando los efectos viscosos son despreciables), la ecuación de la energía y la ecuación de estado. La formulación del problema, que hay que completar con las condiciones de contorno e iniciales apropiadas, resulta ser extremadamente compleja, por lo que es preciso introducir drásticas simplificaciones adicionales si se pretende llegar a modelos matemáticos con solución abordable analíticamente, e incluso numéricamente, en los que el esfuerzo necesario para su resolución no resulte desmesurado.

Como disciplina, la aerodinámica abarca a su vez una amplia variedad de problemas fluido mecánicos, lo que aconseja el establecimiento de estrategias de solución diferentes dependiendo del aspecto dominante de la configuración fluida en estudio.

Quizás la división más obvia sea la que se puede establecer en razón de la forma del cuerpo sobre el que se quieren conocer las cargas aerodinámicas, de manera que atendiendo a la geometría del obstáculo, se puede hablar de una aerodinámica aeronáutica (con sus propias subdivisiones) y de una aerodinámica de cuerpos no aeronáutica, llamada por economía del lenguaje, aerodinámica civil. Como es natural la frontera entre ambas ramas de la aerodinámica está poco definida, y los conceptos físicos que se manejan en una y otra vertiente de esta área del conocimiento científico y tecnológico, son análogos.

Como ya lo indica el nombre, este término tiene su origen en la aeronáutica, pues es el principio básico y fundamental que permite la sustentación de la aeronaves. Se puede concretar que muchos de los desarrollos en aeronáutica se han traducido en avances en la aerodinámica de vehículos, y estos cambios empiezan a materializarse a partir de la segunda guerra mundial, cuando el desarrollo aeronáutico consiguió una importancia muy grande.

La aerodinámica en vehículos tiene un origen: la competición. Conseguir el vehículo más eficiente y más rápido es lo fundamental en las carreras. Un vehículo eficiente puede hacer más km sin parar, uno rápido puede adelantar a sus rivales, conseguir estos dos factores es la clave del éxito.

Es muy visual comparar un Fórmula 1 de los primeros años de la competición con uno de los últimos años. [10]



Ilustración 17: Ascari en 1950





Ilustración 18: Räikkönen en 2008

Entender los elementos que diferencian el F1 de 2008 al de 1950 explica conceptos básicos de aerodinámica. La resistencia del aire, o mejor dicho, lo que frena al vehículo al avance, y la sustentación negativa, o mejor dicho fuerza hacia el suelo, que es lo que permite que se alcancen mayores velocidades en giros.

El F1 de la actualidad intenta canalizar el aire de la forma más lineal posible hacia atrás para evitar que este le frene, pero a la vez de forma contraria busca que parte del aire lo empuje hacia el suelo. Para entender estos dos conceptos lo mejor es fijarse en un perfil alar.

Asumiendo que la corriente de aire se mueve de izquierda a derecha y debido a la geometría y ángulo de este perfil, el aire se moverá más rápidamente en la superficie superior que en la inferior. Este diferencial de velocidades da lugar a una depresión en la superficie superior (una succión) y una zona de altas presiones en la superficie inferior. La resultante de la fuerza debida a estas presiones, es lo que llamamos sustentación. Este razonamiento es válido desde un avión de carga hasta el pájaro más pequeño. [k]

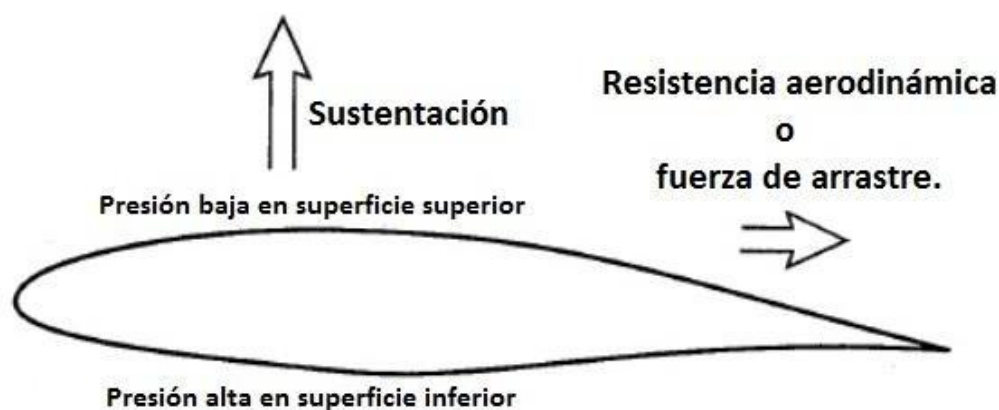


Ilustración 19: Esquema perfil alar

Por otro lado, al ser un cuerpo en movimiento inmerso en un fluido, este ofrece una resistencia al avance, que denominamos resistencia aerodinámica o fuerza de arrastre. Esta última fuerza en relación con la sustentación, es normalmente bastante menor.

Dependiendo del campo de la industria donde refiramos esta teoría aerodinámica, se buscará reducir el arrastre, aumentar la sustentación o incrementar la sustentación negativa. En el caso de los vehículos, la reducción del arrastre es fundamental para la optimización del consumo de combustible, lo cual se consigue mediante el suavizado del perfil.

La sustentación negativa se consigue utilizando perfiles alares en sentido opuesto. En 1968 apareció este concepto en la F1, con los llamados alerones gigantes, los cuales generaban una fuerza negativa (Downforce) muy grande, y para evitar el arrastre (drag) los soportes eran muy finos y largos, lo que los hacía muy peligrosos pues se rompían con facilidad.



Ilustración 20: Primer Lotus con alerones de 1968

Esta nueva tecnología, el dominio del downforce y el drag se fue perfeccionando con los años, hasta llegar a la era del efecto suelo donde se aplicaban chasis con forma de perfil alar generando fuerzas negativas muy grandes hasta que algo fallaba, como por ejemplo una compresión repentina al variar la distancia al suelo y los monoplazas perdían el control de forma catastrófica.



Ilustración 21: Lotus con efecto suelo de 1978

Por último, otro punto importante en la determinación de los tres esfuerzos aerodinámicos de un cuerpo en un campo fluido, es la inclinación del perfil frente al movimiento, lo que se denomina ángulo de ataque.

El ángulo de ataque es el ángulo que forman la cuerda geométrica de un perfil alar con la dirección del aire incidente. Esta variación en vehículos del ángulo respecto al eje perpendicular a la marcha de izquierda a derecha se la conoce como pitch y su principal uso es aumentar la carga aerodinámica. [9]

En lo que respecta al diseño del prototipo de la SEM, las fuerza negativas no son interesantes pues siempre generan drag, por lo que habrá que centrarse en un diseño que tenga el mínimo arrastre. Para ello habrá que recurrir al uso de perfiles NACA.

### 3.4.1 Perfiles NACA

La NACA (National Advisory Committee for Aeronautics: Comité Consejero Nacional para la Aeronáutica) fue una agencia federal de Estados Unidos fundada en 1915 para emprender, fomentar e institucionalizar las investigaciones aeronáuticas.

En 1958 pasó a ser el núcleo de la actual NASA (National Aeronautics and Space Administration: Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio). Los perfiles investigados por la NACA son los actualmente utilizados en la industria aeronáutica. Es por esto que se describirán únicamente tales perfiles. Las familias de perfiles generados resultan de la combinación de la forma de la línea de curvatura media y las distintas distribuciones de espesores a lo largo de esta.

Gracias a la NACA a día de hoy se dispone de un amplio catálogo de perfiles alares distribuidos por códigos numéricos, cada uno ofrece valores distintos de sustentación y arrastre en función de la curvatura y el ángulo de ataque. Buscaremos los de menor sustentación, o inclusive los que tengan valor nulo.

Para generar la geometría del vehículo utilizaremos dos perfiles NACA, los cuales al cruzarlos generarán cuatro planos. Uniendo puntos a la misma longitud de un punto de coordenadas y suavizando al máximo las curvas se obtendría una geometría muy aerodinámica.

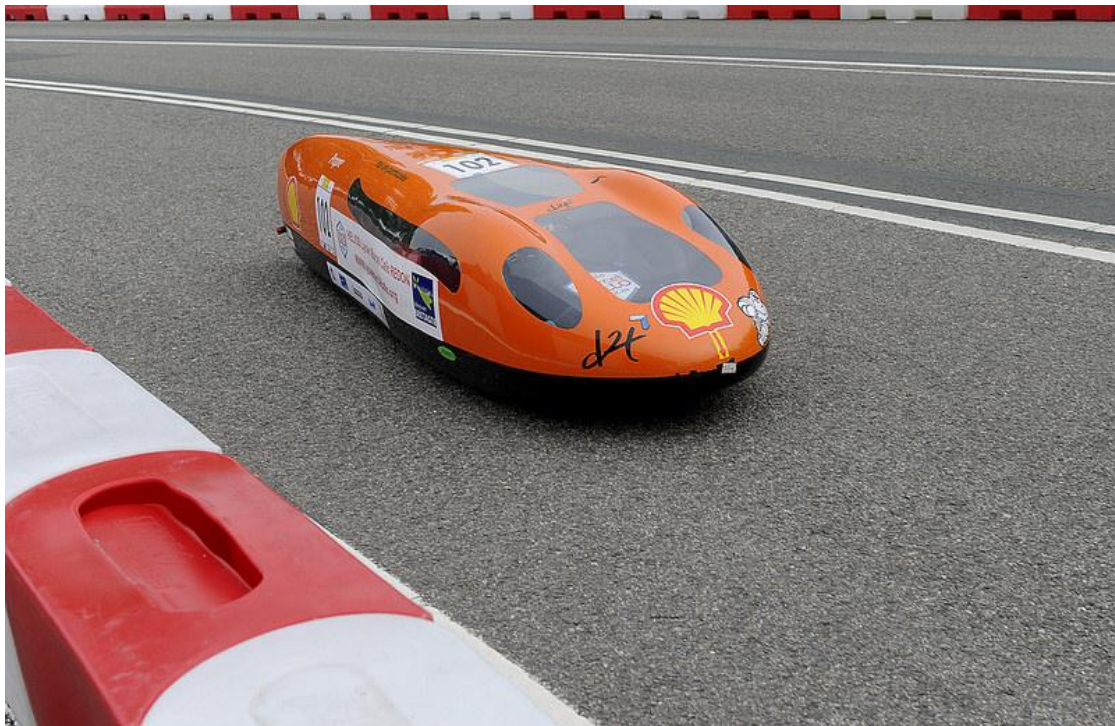


Ilustración 22: Prototipo de la competición

Como se muestra en la imagen, los prototipos típicos de la SEM no buscan fuerza negativa, las velocidades alcanzadas son muy bajas. El objetivo de la competición es la eficiencia energética, por lo que todos o casi todos los diseños buscan de la mejor forma posible canalizar el aire hacia atrás de la forma más lineal posible y así tener el mínimo arrastre.



### 3.5 Los materiales

Muy importante son los materiales que se vayan a usar en la fabricación de vehículos, pues son medios de transporte de personas y necesitan cumplir unos requisitos de seguridad importantes.

Como ya se ha indicado en capítulos anteriores, los materiales usados en automovilismos empiezan en la madera, aunque los verdaderamente importantes son los compuestos metálicos. Por último, en los últimos años se ha trabajado mucho con materiales compuestos y polímeros.

Los metales son sin duda en cuanto a fabricación de estructuras los más importantes, destacando entre todos dos: acero y aluminio.

El acero es una aleación de hierro con pequeñas cantidades de carbono y que adquiere con el temple gran dureza y elasticidad. Existen muchas aleaciones de acero, cada una con una composición química diferente y en las cuales aparecen más compuestos como el manganeso, el magnesio, el cobre, el silicio y el wolframio entre otros. Cada aleación tiene unas propiedades físicas diferentes sin contar con los tratamientos térmicos.

Los aceros suelen tratarse térmicamente para mejorar sus propiedades o para darle unas nuevas, por ejemplo aumentar su ductilidad o mejorar su resistencia a rotura. Los tratamientos más utilizados son el temple y el revenido.

Las estructuras de acero son las más populares en vehículos, puesto que el acero es muy cómodo de trabajar, es económico y ofrece valores de resistencia bastante altos.

El otro metal de gran uso es el aluminio. El aluminio es un metal plateado, muy ligero, buen conductor y resistente a la oxidación, que no se encuentra nunca libre en la naturaleza y se extrae principalmente de la bauxita.

Existen también múltiples aleaciones de aluminio, cada una con sus propiedades. Al igual que los aceros, se pueden encontrar propiedades físicas muy diversas en función de la composición química, el proceso de obtención y el tratamiento térmico. Podemos encontrar aluminios tan duros o más que muchos aceros, el llamado duraluminio de uso muy extendido en aeronáutica.

Las principales diferencias entre acero y aluminio son las siguientes:

- Resistencia: El acero es en general mucho más resistente que el aluminio.
- Dureza: el aluminio es un metal mucho más blando que el acero.
- Corrosión: el aluminio resiste mucho mejor a la oxidación que el acero.
- Maleable: el aluminio es más maleable que el acero.
- Peso: el aluminio es un metal mucho más ligero que el acero.
- Soldabilidad: el acero es mucho más soldable que el aluminio.

Para el diseño del chasis buscamos dos propiedades: resistencia alta y bajo peso.

En cuanto a los materiales poliméricos, alguno polímeros duros pueden llegar a ser casi tan resistentes como el acero, pero son muy frágiles. Estos materiales tienen un coste elevado pero pueden ser interesantes en cuanto a que son mucho más ligeros que los metales.

Por último, los materiales compuestos ofrecen una mezcla de propiedades, suelen ser muy ligeros y resistentes, más económicos que algunos metales especiales pero por el contrario son frágiles. La fibra de vidrio se utiliza mucho en construcción para revestimientos y fabricación de carcasas. Es resistente a impactos puntuales, muy ligera, resistente a las vibraciones y cargas muy progresivas. Sin embargo sometida a ensayos de impacto es frágil, se rompe con facilidad tanto en colisiones como a cortadura.

La fibra de carbono es por el contrario un material compuesto mucho más resistente. Capaz de soportar grandes esfuerzos gracias a las fibras de carbono que hay entrelazadas entre la resina epóxica que las une, es también resistente a vibraciones. Sin embargo no es deformable, es muy rígido y por lo tanto frágil. Un ejemplo sencillo son los "crash-test" de la F1, en los que se aprecia como la fibra de vidrio se descompone en millones de pequeñas virutas cuando se la somete a grandes impactos.



Ilustración 23: Crash test material compuesto

La fibra de carbono es un compuesto costoso, la fabricación de piezas se realiza mediante autoclaves. Un autoclave es un horno de grandes dimensiones en el que además de temperatura se generan cambios de presión en el interior, tanto positiva como negativa.

En conclusión a todos los materiales habitualmente utilizados en la fabricación de automóviles, utilizaremos el aluminio por su relación calidad, peso y precio. En los siguientes capítulos se incluyen más datos acerca del material seleccionado.



## CAPÍTULO 4: ANTECEDENTES



## 4 CAPÍTULO 4: ANTECEDENTES

### 4.1 Introducción

En este capítulo se describirán los trabajos anteriores realizados por otros miembros del equipo de competición de la universidad Carlos III de Madrid y como han afectado directamente ó indirectamente al desarrollo del presente trabajo.

### 4.2 Shell Eco-UC3M

El equipo de alumnos destinado a la competición de un prototipo para la Shell Eco-Marathon de la Universidad Carlos III de Madrid se denomina Shell Eco-UC3M.

Dentro de esta asociación estudiantil cada alumno está destinado al estudio y diseño de una parte diferente del vehículo. La colaboración entre todos los alumnos y compañeros de la universidad está destinada a la fabricación del primer prototipo participante por parte de la UC3M en la competición.

Durante varios años se ha ido desarrollando el diseño de la que será la primera unidad. Se han elegido aspectos importantes como el tipo de chasis, el tipo de propulsor, el modelo de propulsor, la forma general, el sistema de dirección, pilotos, patrocinadores, colores figurativos entre otras cosas.

Es por esto, que el presente documento es solo una parte del trabajo desarrollado por muchas personas bajo una misma idea, colocar en pista el primer prototipo de esta universidad.



Ilustración 24: Shell Eco UC3M Racer

### 4.3 El motor

Como se ha indicado en capítulos anteriores de este documento, este prototipo será impulsado por un motor de explosión de gasolina.

El motor elegido es el modelo **GX-25** de Honda, un motor de cuatro tiempos ligero de 25 cm<sup>3</sup> capaz de suministrar una potencia de 0.72 KW a 7000 rpm. [11]

La principales características de este motor son las siguientes.

- Motor de 4 tiempos mono-cilíndrico.
- 25 cm<sup>3</sup>
- Refrigerado por aire.
- Combustible: Gasolina sin plomo.
- Incorpora embrague centrífugo.
- Ratio de compresión: 8:1
- 1 cv (0.72 KW) a 7000 rpm.
- 1 Nm a 5000 rpm.
- Consumo de 0.54 L/h a 7000 rpm
- Lubricado por aceite.
- Depósito de aceite de 0.08 L.
- Dimensiones:
  - Largo: 192 mm
  - Ancho: 221 mm
  - Alto: 230 mm
- Peso neto: 3.4 Kg



Ilustración 25: Motor Honda GX-25 para prototipo

De cara al diseño del chasis descrito en este documento, los datos más importantes son el peso, las dimensiones del motor y los puntos de apoyo del mismo al suelo.

Como se muestra en los planos del modelo, el GX-25 incorpora en su base dos agujeros roscados de M5 separados a 50mm para su sujeción.

En la siguiente imagen se puede ver la solución adoptada en los anteriores diseños. Se tomará esto como referencia para el nuevo diseño.[f]

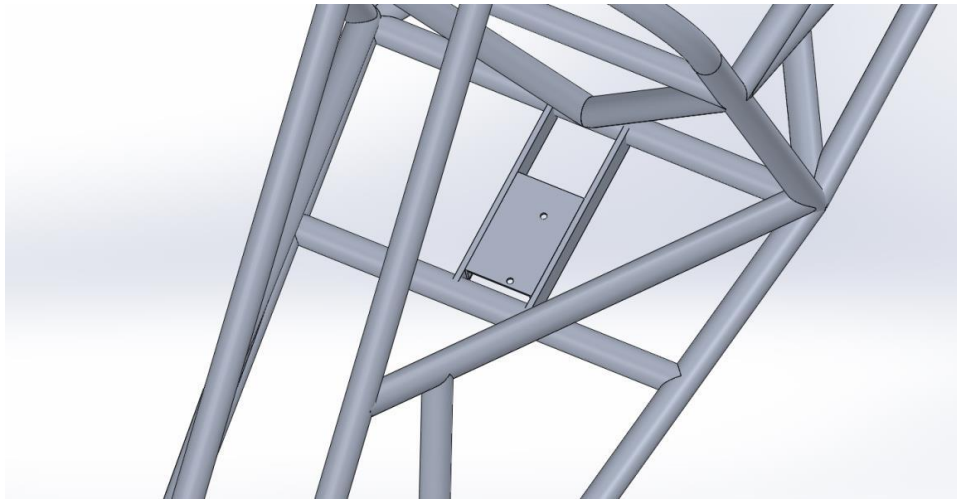


Ilustración 26: Soporte para motor de diseño anterior

#### 4.4 Diseños anteriores

De cara al diseño, los trabajos realizados por otros compañeros en el área de chasis y carenado, son muy importantes.

El presente documento describe el desarrollo de un diseño que toma de origen los trabajos anteriores para una mejor integración con los restos de elementos diseñados por otros integrantes del equipo, como son la dirección, el interior del cockpit, el motor y el sistema de transmisión.

Pero también es importante fijarse en la evolución de los trabajos para comprender mejor el camino que escogido por el equipo.

Uno de los primeros diseños de los que se tienen datos estaba formado por perfiles ITEM, era una estructura de aluminio en forma de cuña y con dirección trasera. [5][c]

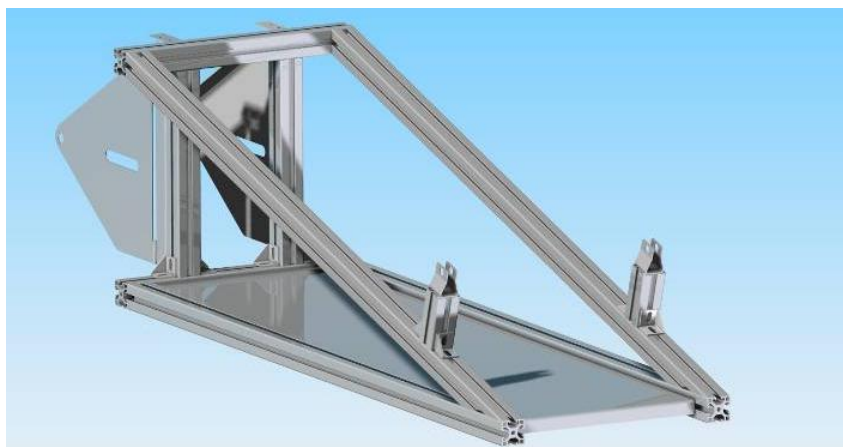


Ilustración 27: Diseño con perfiles ITEM



El primer chasis construido seguía un diseño similar al anterior, cambiando los perfiles ITEM por tubos cuadrados. Resultó que la estructura era demasiado pesada y el diseño quedó descartado.

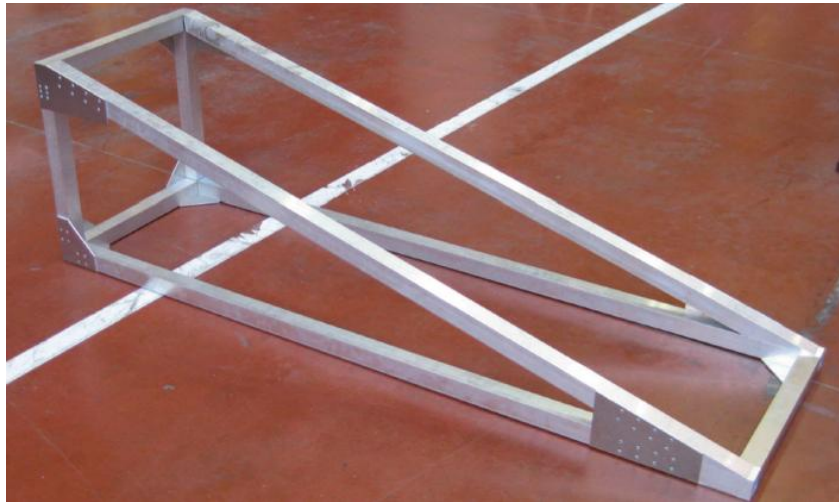


Ilustración 28: Primer chasis fabricado para la UC3M

Se diseñaron más chasis siguiendo el concepto de cuña hasta que se decidió realizar un cambio importante en la forma básica del prototipo. Se realizó un diseño de carrozado completo que no buscaba ir lo más cerca del suelo sino que evitaba la resistencia del aire generada por las capas turbulentas, por ello era un diseño más alto y muy esbelto con un coeficiente aerodinámico muy bajo.

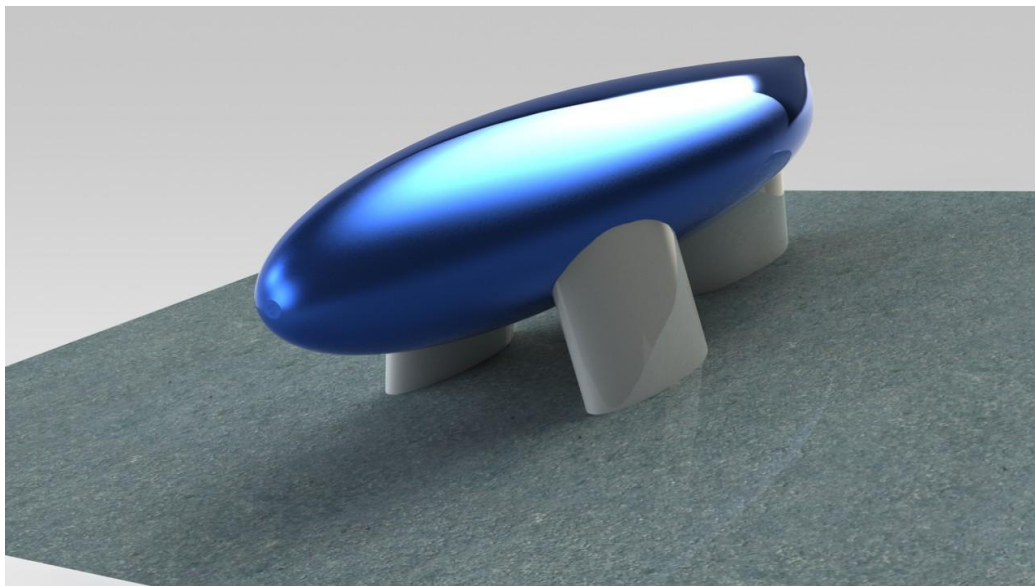


Ilustración 29: Diseño de carenado cerrado

Este diseño de carenado necesitaba un chasis acorde a la nueva geometría, por ello se trabajó en un chasis tubular completamente diferente de los anteriores. Este nuevo diseño, radicalmente diferente a los anteriores solo mantenía la dirección en el eje trasero. [d]



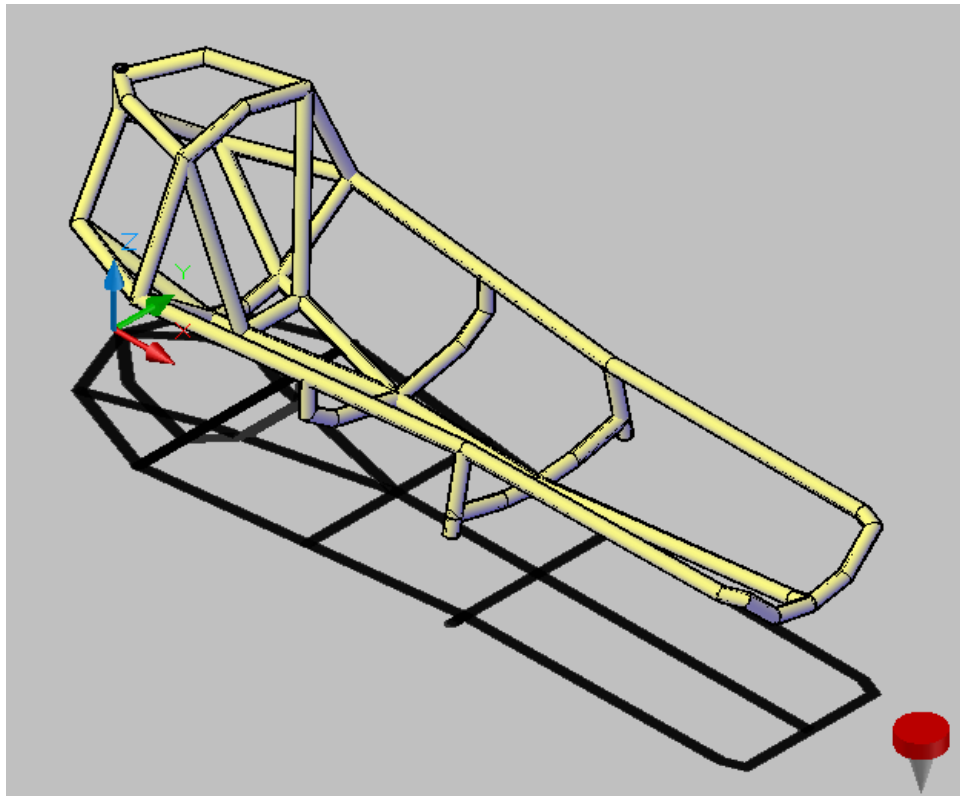


Ilustración 30: Chasis tubular dirección trasera

Tras un cambio importante en la normativa de la competición, en la cual se prohibieron que los prototipos tuvieran la dirección en el eje trasero, se volvió a realizar otro cambio importante en el concepto de vehículo del equipo de la universidad, si bien todo el trabajo realizado años anteriores quedaba obsoleto al ser un vehículo de dirección trasera.

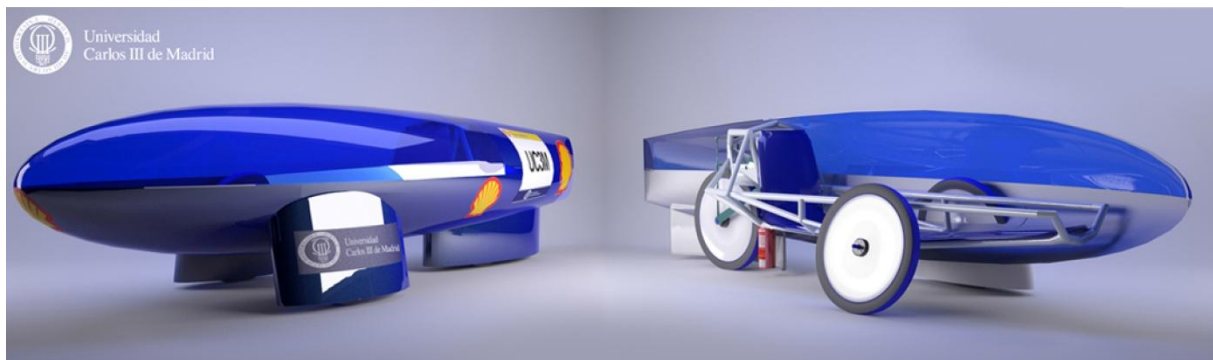


Ilustración 31: Carenado y chasis de la propuesta antigua

El modelo siguiente al último descrito es el que servirá de base para el desarrollado en el presente documento, y por lo tanto requiere especial atención.

#### 4.4.1 Diseño base

El trabajo realizado por **Ángela Lorenzo Agudo** es el último diseño del que dispone el equipo. Este modelo sigue unas pautas diferentes a las anteriormente descritas, está pensado para que las ruedas

delanteras sean las directrices, el fondo es plano dado que al no necesitar de elevar el motor para un sistema de dirección trasero, se da mayor importancia a bajar el centro de gravedad del vehículo con el objetivo de aumentar la velocidad de paso por curva. [e]

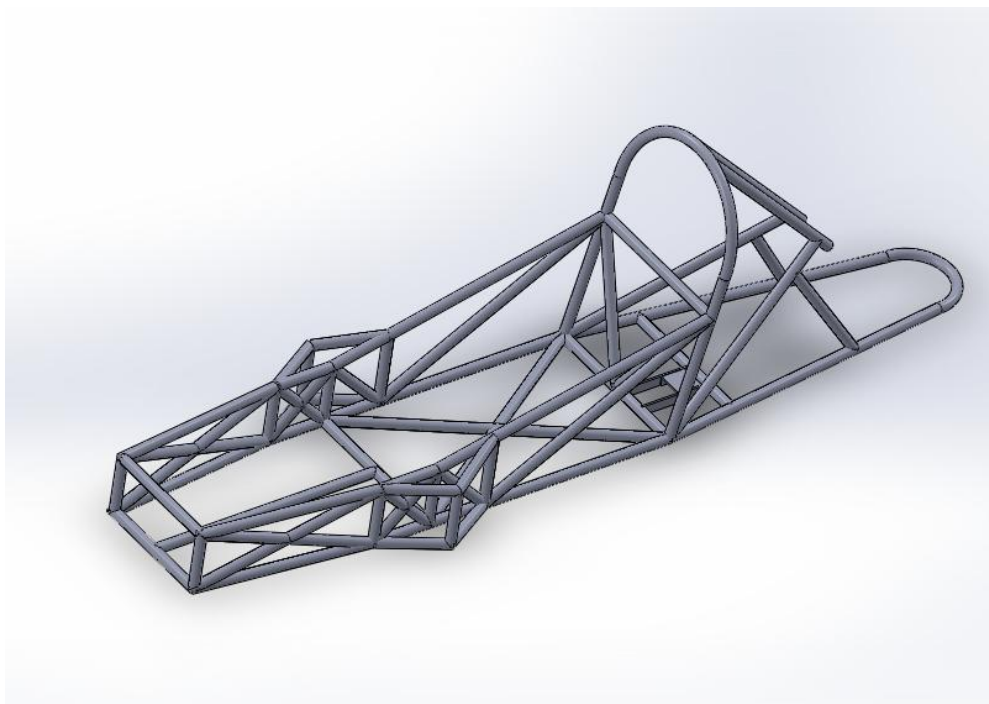


Ilustración 32: Diseño base

Como se aprecia en la ilustración 14, se trata de un chasis tubular en aluminio compuesto por diferentes tramos soldados, un total de 32 piezas diferentes, de las cuales muchas se repiten haciendo un total de **61 tramos soldados**.

El peso obtenido para este diseño es de **15.4 Kg**, y los perfiles tubulares usados son de 25 mm de diámetro exterior alternando espesores interiores entre 2, 3 y 5 mm.

Los resultados de resistencia y deformación se resumen en la siguiente tabla.

Ensayo	Tensión máx.	Deformación máx.	Constante de rigidez
Frenada	39 MPa	0.435mm	N/A
Aceleración	39 MPa	0.435 mm	N/A
Aceleración lateral	70 MPa	2.369 mm	N/A
Torsión	N/A	N/A	701,2 Nm/°
Barra antivuelco ascendente	N/A	0.082 mm	N/A
Barra antivuelco descendente	N/A	0.53 mm	N/A
Barra antivuelco hacia atrás	N/A	0.077 mm	N/A
Barra antivuelco hacia delante	N/A	0.54 mm	N/A
Barra antivuelco izquierda	N/A	1.29 mm	N/A
Barra antivuelco derecha	N/A	1.30 mm	N/A

Tabla 4: Resultados modelo base

En conclusión, el modelo que se desarrolla en el capítulo siguiente debe ser una continuación del trabajo descrito en este apartado. Debe ser un modelo que iguale o mejore los resultados obtenidos, compuesto por un menor número de piezas, más ligero si fuera posible y por último, que pueda fabricarse bajo un presupuesto real lo más económico posible.



## CAPÍTULO 5: DISEÑO



## 5 CAPÍTULO 5: DISEÑO

### 5.1 Introducción

En este capítulo se explicará el proceso de diseño por el que se han regido los dos objetivos de este proyecto. El primer apartado describirá el diseño del carenado basado en perfiles NACA y el segundo apartado el diseño del chasis basado en el modelo anterior para obtención de un modelo más real.

Los resultados del diseño del chasis quedarán reflejados en el siguiente capítulo número 6.

### 5.2 Diseño del carenado

El carenado es la carcasa que da la forma exterior del vehículo y protege los elementos del interior frente al viento y la condiciones exteriores.

En lo que respecta a este diseño, el carenado no debe soportar esfuerzos estructurales, tan solo canalizar el aire para reducir la resistencia y proteger al piloto y los diferentes elementos del vehículo de las condiciones exteriores.

Como ya se ha indicado en capítulos anteriores, la normativa de la competición obliga a que los prototipos usen carenados completamente cerrados garantizando las condiciones de visibilidad y accesibilidad del piloto.

#### 5.2.1 Criterios de diseño

El carenado debe adaptarse al chasis al que va a ir unido. Debe de presentar cierto ajuste para que ambos elementos se puedan unir, un diseño con mucha holgura respecto del chasis sería demasiado complicado de unir y generaría problemas de vibraciones. Por lo tanto, es muy importante que el modelo se adapte bien.

El peso es otro factor importante, debe de estar hecho de materiales ligeros pero a la vez lo suficientemente resistentes como para no doblarse en el movimiento. Cada gramo que se añade al prototipo se traduce en un aumento del consumo.

La visibilidad del piloto es otro factor importante, este debe poder ver en un ángulo de 90° sin problemas, además debe tener visión de la parte trasera mediante el uso de retrovisores, los cuales se pueden albergar en el interior del carenado para no aumentar su resistencia al avance.

El acceso al cockpit por parte del piloto y al motor deben ser fáciles y rápidos. Es importante que el carenado esté dividido en dos o tres partes de tal forma que el acceso del piloto no requiera desmontar todo el conjunto. También se debe poder acceder a la zona del motor de una forma rápida y sencilla.

La resistencia al avance debe ser la menor posible. Un diseño eficiente debe generar el mínimo esfuerzo al avance para que el consumo se reduzca. Las formas suaves y progresivas facilitan esta labor al igual que las colas esbeltas. Es por esto que se recurre a perfiles NACA para determinar la forma del carenado.

El coste debe ser adecuado, el material escogido y el proceso de fabricación determinarán el coste de fabricación. Este proceso queda detallado en el **capítulo 7**.

La combinación correcta de estos criterios serán las claves para obtener el mejor diseño.

#### 5.2.2 Fibra de vidrio

Se plantea la fabricación del carenado en fibra de vidrio, un material compuesto ligero y económico con una gran resistencia. Se plantea el diseño de láminas de fibra de vidrio de 5mm de espesor.

El diseño se dividirá en tres partes, siendo dos de ellas fácilmente desmontables. Estas partes serán el fondo plano, el cual será fijo a la estructura, la cubierta del cockpit, la cual llegará desde la parte delantera hasta la barra antivuelco y será fácilmente desmontable tanto desde el interior como desde el exterior, asegurando así que se cumplen los parámetros de seguridad para el piloto. Por último, la parte trasera superior será otra pieza desmontable para tener acceso rápido al motor y los elementos de transmisión, control y depósito.

Para garantizar la visión del piloto según normativa, la carcasa del cockpit estará vaciada a tres cuartas partes de su superficie. Este espacio se cubrirá con láminas de plástico transparentes semirrígidas, similares a las usadas para la fabricación de pantallas de casco. Este material es policarbonato compacto, el más usado en industria se le conoce como "LEXAN". Para la fabricación de esta cúpula serán necesarios al menos una plancha del mismo espesor que el resto del carenado (5mm) con los extremos achaflanados para una mejor integración en el conjunto.

Para que la unión entre partes sea correcta y se apoyen bien unas sobre otras se utilizarán perfiles de aluminio como los usados en los contenedores aeronáuticos.



Ilustración 33: Uniones de aluminio para piezas de fibra

### 5.2.3 Diseño aerodinámico

Como ya se ha indicado en capítulos anteriores, los perfiles NACA son muy prácticos para los objetivos buscados, puesto que ofrecen poca resistencia al avance y una velocidad de flujo alta.

Para el diseño aerodinámico de la carrocería se toman dos perfiles alares, uno será la planta y el otro el alzado. La unión de ambos en un punto de referencia generará un sistema de coordenadas en tres dimensiones que al unirlos generará un volumen. Este volumen será la estructura del carenado.

#### 5.2.3.1 Alzado

Para el alzado se ha partido de un perfil **NACA 66-1025 a=0,7**; corregido para obtener una base plana en la parte inferior.

El ratio de velocidades ( $v/V$ ) sirve para medir el arrastre de un objeto en movimiento. Cuanto mayor es este valor, mayor es el rozamiento y más arrastre o "drag" se produce. Los desprendimientos de la capa límite del aire generan turbulencias, las cuales reducen la velocidad del fluido. Por lo tanto, cuanto mayor sea el ratio de velocidades mayores son las turbulencias, lo que equivale a menor velocidad del aire que bordea el objeto.

Si nos fijamos en los datos obtenidos para el perfil, se aprecian valores muy bajos en la parte inferior, por el contrario, en la parte más alta el desprendimiento es mayor. Esto se traduce en que el punto crítico aerodinámico es el cambio de ángulo en la parte superior.

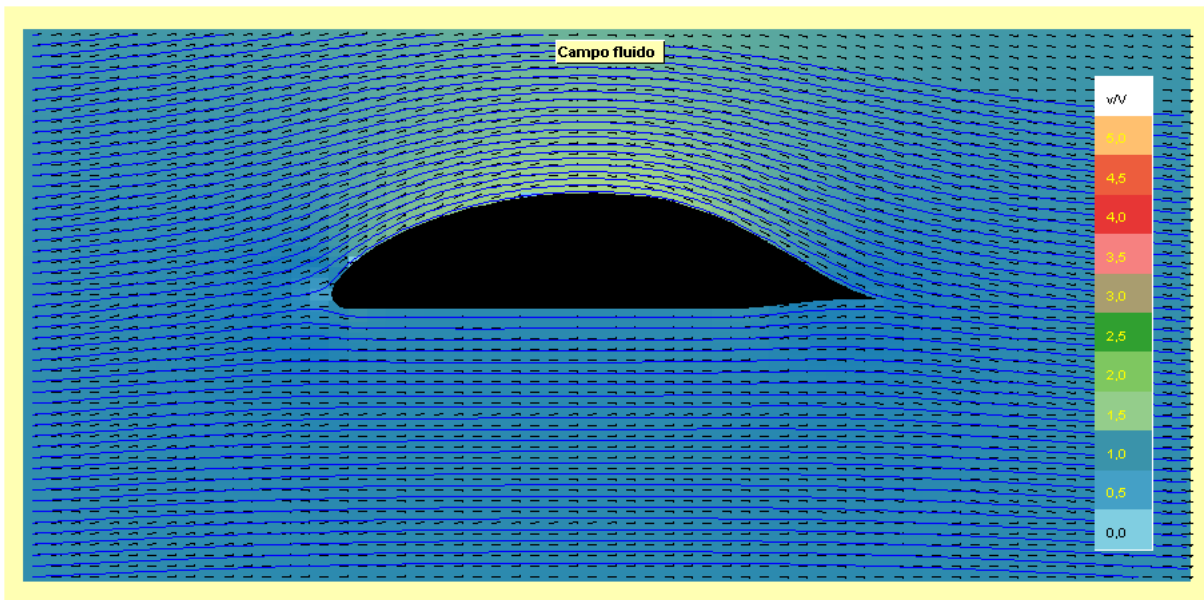


Ilustración 34: Ratio  $v/V$  para el perfil del alzado

Sin embargo, el punto más crítico en cuanto a la resistencia al avance de cualquier objeto, en este caso un vehículo, es la parte final, la cola. En la parte final es donde se produce el efecto de succión que genera la gran parte del "drag" de un vehículo. En nuestro diseño, en la parte final se observan valores de ratio muy bajos. Esto quiere decir que el aire se canaliza bien en la parte de atrás y no se generan turbulencias, lo que se traduce en un mejor avance del prototipo.

El otro punto de interés es el coeficiente de presión. Este mide la fuerza que ejerce el aire contra el objeto que se mueve a través de él. Este coeficiente puede ser positivo o negativo, las fuerzas positivas generan empuje, mientras que las negativas arrastre.

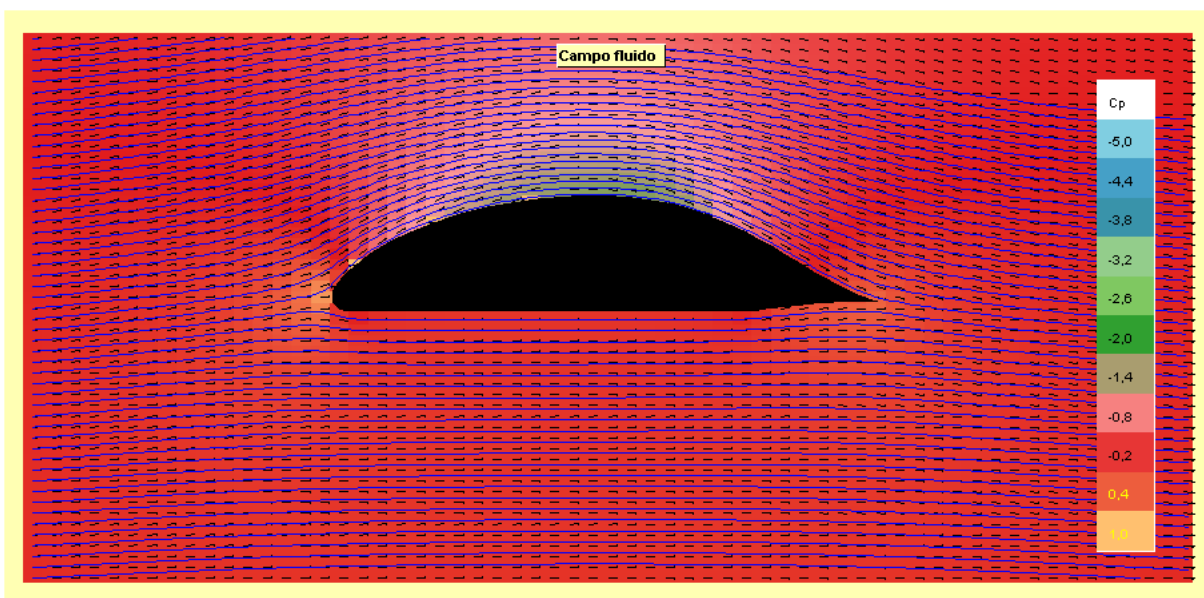


Ilustración 35: Coeficiente de presión para el perfil del alzado

En el modelo analizado, las fuerzas positivas en la parte frontal se traducen en una fuerza de retención, es decir que frenan el avance. Se pueden apreciar pequeños picos de fuerza positiva al comienzo de la



curva, la parte correspondiente a la cúpula. Estos esfuerzos generan un empuje hacia abajo que hace que el perfil se pegue más al suelo. Por el contrario, hay una parte de succión en el vértice superior, lo que genera un esfuerzo ascendente que empujaría del perfil hacia arriba. Hay que tener estos esfuerzos en cuenta a la hora de fijar la carrocería al chasis, puesto que al ser muy ligera, en el avance se podría desprender. Por último, en la cola aparece un ligero esfuerzo positivo hacia abajo, lo que añadiría un punto más de agarre y estabilidad al prototipo.

Estos resultados se tendrán en cuenta en el diseño de las uniones entre chasis y estructura que se detallan en el capítulo 7 de este documento.

### 5.2.3.2 Planta

Para el perfil de planta se ha utilizado un **ROSNER 4** modificado para conseguir que el punto más ancho de dicho perfil se encuentre en el paso de ruedas delanteras. De esta forma se garantiza el ángulo de giro necesario para el prototipo.

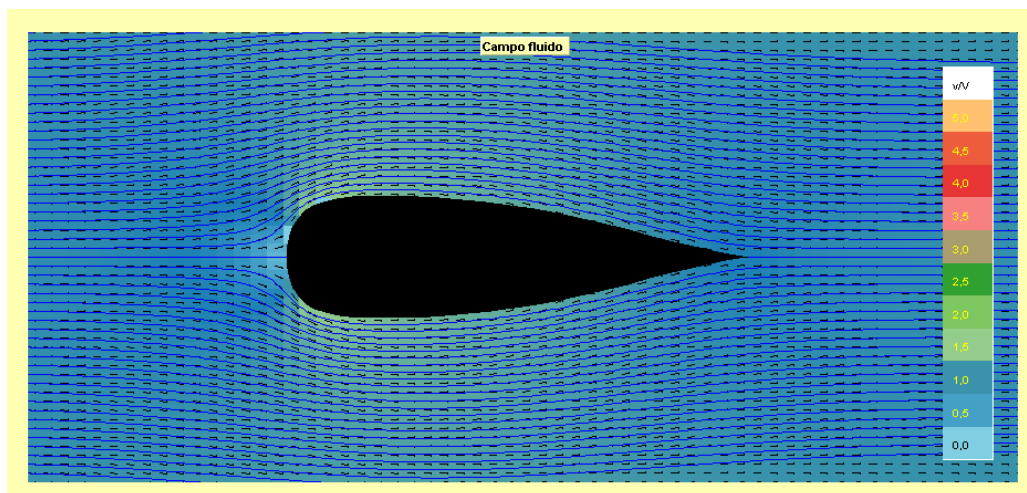


Ilustración 36: Ratio  $v/V$  del perfil de planta

Al igual que en apartado anterior, se han obtenido buenos resultados en la zona de la cola, valores críticos en el diseño si se busca un bajo rozamiento con el aire.

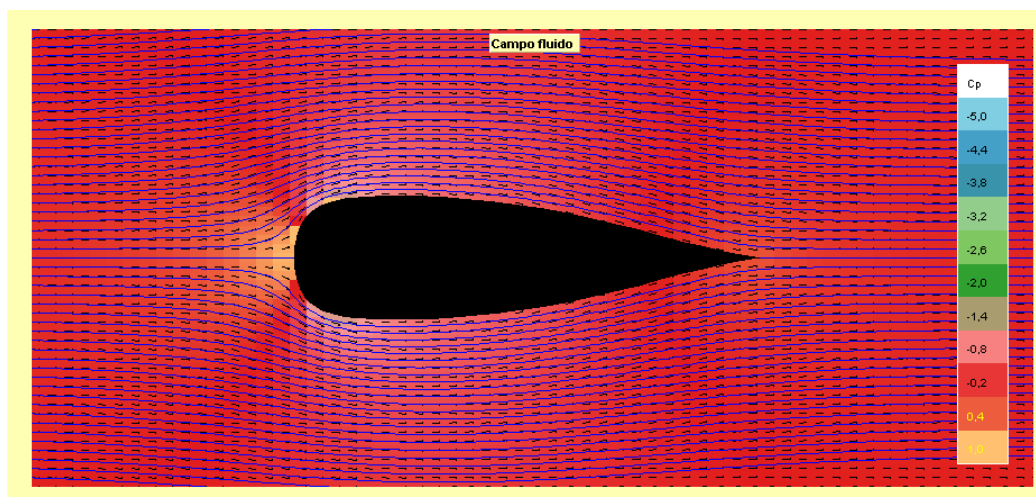


Ilustración 37: Coeficiente de presión del perfil de planta



En este caso, los valores de sobrepresión son mayores y más importantes que en el caso anterior. No obstante, y como ya se ha explicado, son más perjudiciales los efectos de succión en la parte trasera que los de presión en la parte frontal, con lo cual se puede concluir que el diseño es aceptado dado que no se aprecian resultados críticos en esa zona.

### 5.2.3.3 Criterios diseño y versiones anteriores

Para el diseño de los perfiles alares que darán forma al carenado del futuro prototipo, se han tenido en cuenta además de los aspectos aerodinámicos, la forma del chasis, posición del piloto y ubicación de las ruedas.

Un punto importante es encontrar un perfil NACA, que como ya se ha explicado, se usan por su gran eficiencia aerodinámica, que encaje con las dimensiones del chasis diseñado. Para ello hay que calcular el coeficiente máximo de longitud y ancho de vía,  $t/c$ .

En este caso, la longitud del carenado serán 3000mm, cuanto mayor sea esta longitud menor será el coeficiente a utilizar y por tanto el perfil será más eficiente, sin embargo, el aumento de material hará que sea más pesado, lo cual contrarresta el efecto aerodinámico. Para el ancho tomaremos como referencia el ancho de vía y los cálculos de radio de giro mínimos. El resultado final es un ancho de 800 mm. Por último, la altura la marca el chasis y el piloto. La cabeza del piloto debe estar 50mm por debajo de la barra de seguridad. La altura obtenida para que el chasis se pueda introducir es de 650mm, teniendo en cuenta que este punto se encuentra a una distancia de 1250mm (aprox.) de la parte frontal del diseño.

Se planteó un diseño muy optimizado del alzado del carrozado, con un rendimiento aerodinámico sobre plano alto, pero sus dimensiones no eran las correctas.

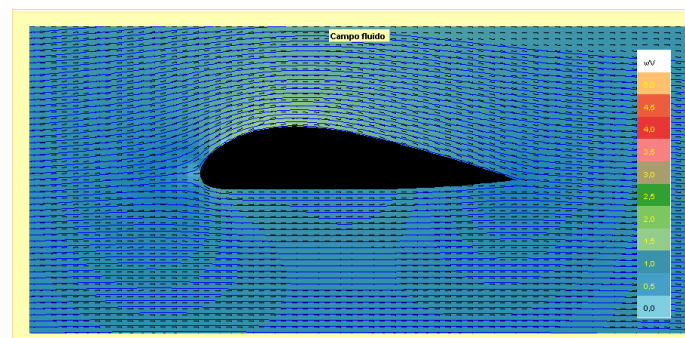


Ilustración 38: Ratio  $v/V$  para el perfil del alzado no válido

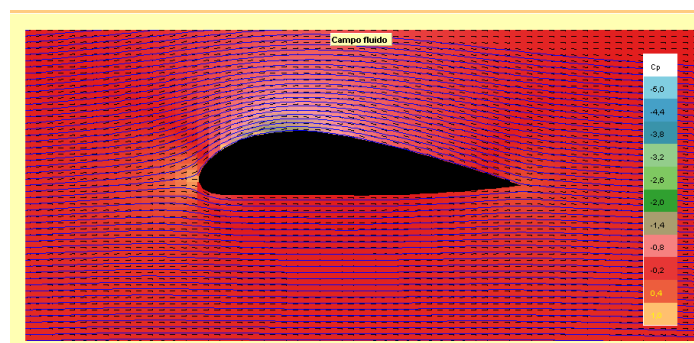


Ilustración 39: Coeficiente de presión para el perfil del alzado no válido

También para el perfil de planta se planteó un diseño muy optimizado, pero no dejaba espacio para albergar ningún piloto en su interior.



Ilustración 40: Perfil de planta no válido

Los diseños con morro afilado quedaron descartados al obligar a sacar la dirección. Si bien tienen beneficios aerodinámicos, el mero hecho de sacar las dos ruedas directrices fuera anula esta ventaja, y no solo eso, sino que añade varias contras.

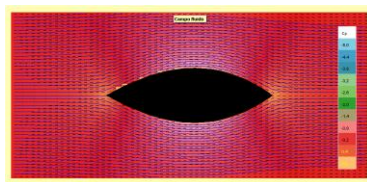


Ilustración 41: Diseño biconvexo

#### 5.2.4 Ángulo de giro

Para conseguir que el modelo supere el mínimo radio de giro necesario, se debe mantener el ancho de vía del modelo en **700mm**.

El ángulo de giro debe estar por debajo de los 7m, para ello el sistema de dirección debe girar los neumáticos al menos  $11^\circ$  con respecto de su posición muerta (cuando el vehículo circula en línea recta) en la rueda exterior al giro, y de  $9.9^\circ$  para la rueda interna.

Sin embargo, la caída de los neumáticos también se debe variar con respecto a los antiguos diseños para que se adapte al nuevo carenado. El cámbor o caída de las ruedas se reduce hasta los  $6.8^\circ$ .

Para calcular el ángulo máximo de giro de las ruedas se ha utilizado la siguiente fórmula.

$$R = \sqrt{\left(\frac{L}{\sin(\alpha)}\right)^2 - L^2}$$

Donde L es la batalla del vehículo (1200mm), es decir la distancia entre ejes y  $\alpha$  el ángulo de giro del neumático.

Para calcular el ángulo de giro de la rueda interna recurrimos a la ecuación básica para el cálculo de la dirección de un triciclo.

$$\cotg(\delta_{ext}) - \cotg(\delta_{int}) = \frac{j}{L}$$

Siendo "j" el ancho de vía (en este caso 700mm) y L la batalla (en este caso 1200mm).

#### 5.2.5 Campo de visibilidad piloto

Como ya se menciona en este documento, el piloto debe gozar de un campo de visibilidad de 90° a ambos lados sin interferencias, por lo que se ha decidido que una cúpula de policarbonato compacto a lo largo de toda la cubierta de la zona del piloto es lo más adecuado.

Para conseguir cumplir la norma en cuanto a visión de la parte trasera será necesario colocar espejos de 15cm de alto y 10 cm de ancho a ambos lados del piloto, situados al menos a una distancia de 20cm por delante de la cabeza y 33cm a un lado.

De esta forma se obtiene un campo de visión de **28.30°** de campo de visión a ambos lados desde una posición fija, pudiendo aumentarse la misma con un leve cabeceo a ambos lados.

#### 5.2.6 Dificultades de análisis

El último apartado del desarrollo de este TFG consistía en realizar un análisis de campo fluido de la representación tridimensional del modelo. Este análisis significaba la demostración de la elección de los perfiles NACA y generaba los verdaderos resultados aerodinámicos, en pocas palabras, era el resultado válido que se buscaba.

La dificultad de modelizar los perfiles en softwares de CAD junto a la complejidad de poder hacer una simulación de fluidos ha hecho que esta parte quede incompleta, convirtiéndose en uno de los trabajos futuros prioritarios.

Por lo tanto, los dos perfiles analizados en plano y que por dimensiones coinciden con el chasis del siguiente apartado son provisionalmente el diseño del prototipo. Es importante tener en cuenta que los trabajos que se vayan a realizar deben al menos respetar las dimensiones generadas al modificar los perfiles NACA en función del chasis.

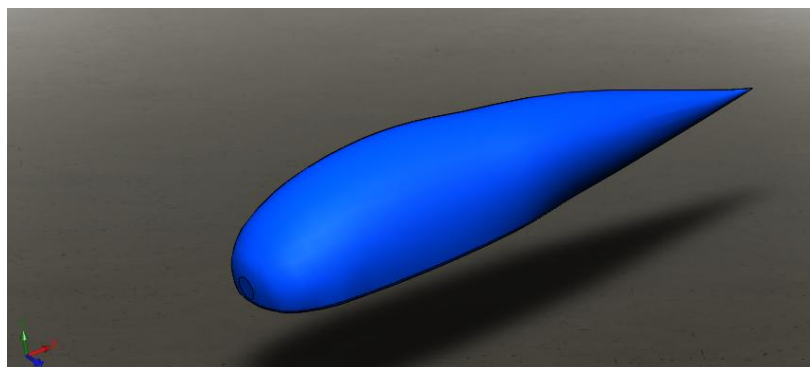


Ilustración 42: Representación 3D del carenado

### 5.2.7 Resultados finales

En función de los puntos anteriores, el carenado queda definido de la siguiente forma.

- Longitud 3000 mm
- Ancho 800 mm
- Alto 650 mm

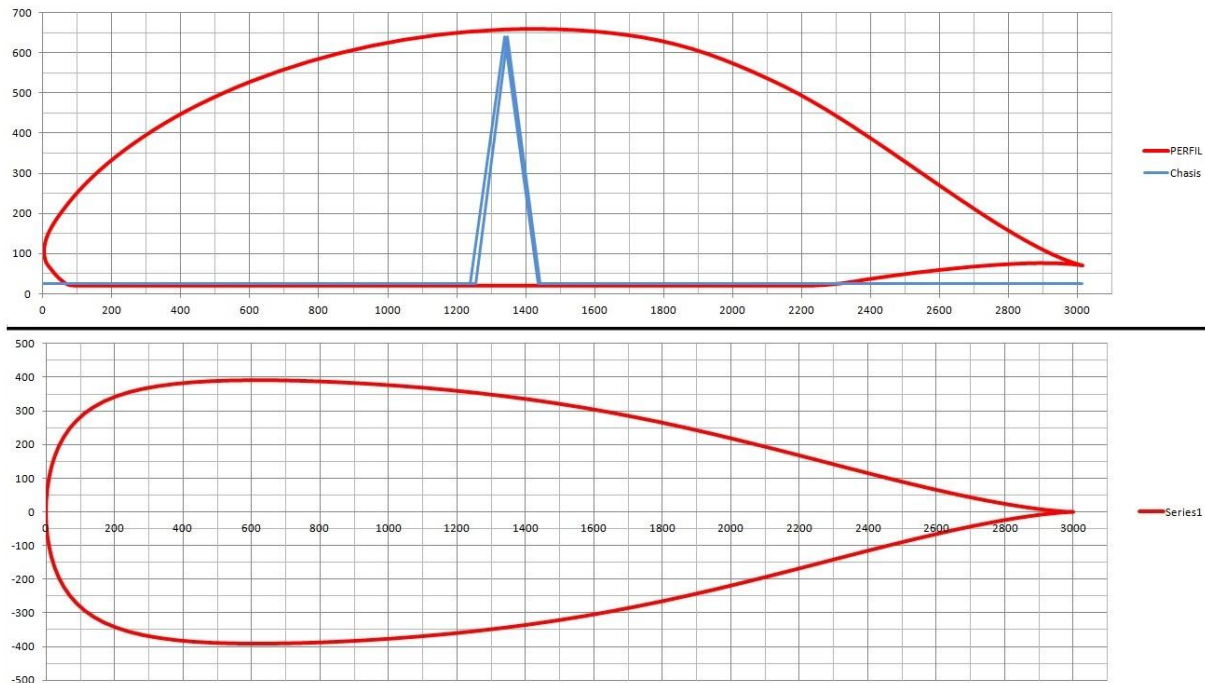


Ilustración 43: Perfiles NACA de alzado y planta

La barra antivuelco queda representada por la línea azul en el perfil de alzado. El espacio libre a la izquierda será el cockpit, donde también estará el eje delantero y las ruedas, mientras que a la derecha de la marca azul se ubicará el motor, los sistemas eléctricos, la transmisión, la rueda motriz y por último la salida del escape, el cual se podría ubicar al comienzo de la cola, punto donde empieza a elevarse el alzado, para beneficiar el flujo con los gases de escape generados.

### 5.3 Diseño del chasis

Para el diseño del chasis se han usado patrones similares a los del carenado. En este caso, los criterios son los siguientes.

- Resistencia
- Peso
- Coste

Para obtener una buena relación de resistencia, peso y coste se ha optado por usar una aleación de aluminio. El aluminio no es material más económico a la hora de fabricar estructuras, ni tampoco el más resistente, pero presenta una gran ventaja de peso frente a las aleaciones de acero y una ventaja de coste frente a otros materiales más ligeros como pudieran ser el titanio o la fibra de carbono.

Quedan descartados otro tipo de materiales que no sean metales por el método de unión. Por ejemplo, los polímeros mecanizables como el PA6-6 (nylon) son resistentes y más ligeros que el aluminio, pero para la unión de piezas es necesario usar adhesivos que no garantizan sus propiedades con cambios de temperatura y humedad y por otra parte son frágiles.

La opción de fabricar el chasis en fibra de carbono queda descartada por una cuestión económica, además que para que esta forma resultara adecuada se debería plantear un diseño de monocasco.

Las aleaciones de aluminio más usadas en industria son las de aluminio-magnesio, dado que ofrecen soldabilidad alta, una resistencia media y son bastante dúctiles. Según normativa europea (DIN, UNE, EN) estos aluminios se denominan como EN-AW-6XXX. Los más usados por los proveedores de aluminio son el 6060, 6063 y 6082.

Otras aleaciones de aluminio muy utilizadas son EN-AW 2030, aleación de aluminio y cobre, dedicada para trabajos de muy poca resistencia, y la EN-AW 7075, más conocido como Duraluminio, una aleación ligera de aluminio con magnesio, cobre y manganeso que es tan duro como el acero y tiene gran resistencia mecánica. El Duraluminio se utiliza mucho en el sector aeroespacial, tanto para la construcción de utillajes de gran tamaño como para partes de las propias aeronaves. El Duraluminio sería la aleación más adecuada para este proyecto, pero su coste es muy elevado y la soldabilidad es compleja, se necesita aportar el mismo tipo de material para poder realizar buenas uniones, lo cual encarece mucho más el coste.

Dentro de las aleaciones más comunes, la aleación **6063 T5** es la de mayor suministros en cuanto a perfiles normalizados según normas DIN. El utilizar perfiles de catálogo bajo norma abarata mucho el coste de material. Para reducir los costes, se utilizará el mismo perfil de tubo para todo el chasis, así además de una reducción del coste se consigue una mayor resistencia en las soldaduras puesto que si los dos elementos a unir tienen el mismo espesor, la soldadura penetra mejor.

La denominación T5 indica un tratamiento térmico de endurecimiento del material, en este caso es un templado y revenido. La duración de este tipo de tratamientos térmicos que aporta unas mejores propiedades al material se denominan bajo esta nomenclatura, pudiendo ir desde un T2 hasta un T6 (por ejemplo). No todas las aleaciones de aluminio son capaces de soportar todos los tratamientos térmicos que se practican.

Las dimensiones de todos los tubos que conforman la estructura se han obtenido del catálogo de perfiles de la empresa ALUSTOCK, una de las más importantes del país. [6]

El perfil utilizado para el diseño es el tubo redondo de 25x20 mm, es decir, 25 mm de diámetro exterior y 2.5mm de espesor. Se ha elegido un perfil de 25mm de diámetro en base al diseño anterior que utilizaba tubos de diferentes espesores pero manteniendo ese diámetro.

Por último, el trabajo de fabricación de mayor coste es la soldadura de los tubos. El aluminio no es un material tan fácil de soldar como el acero, por lo que requiere de profesionales con título certificado. Reducir al máximo las soldaduras será beneficioso en el presupuesto final.

## -6063- (ALUMINIO – MAGNESIO – SILICIO)

### COMPOSICIÓN QUÍMICA

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo	0,30	0,10			0,40					
Máximo	0,60	0,30	0,10	0,30	0,60	0,05	0,15	0,20	0,15	El resto

### PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS ( a temperatura ambiente de 20°C )

Estado	Características a la tracción			Límite a la fatiga N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cizalladura $\tau$ N/mm <sup>2</sup>	Dureza Brinell (HB)
	Carga de rotura Rm. N/mm <sup>2</sup>	Límite elástico Rp 0,2, N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento A 5,65%			
O	100	50	27	110	70	25
T1	150	90	26	150	95	45
T4	160	90	21	150	110	50
T5	215	175	14	150	135	60
T6	245	210	14	150	150	75
T8	260	240			155	80

### PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS ( a temperatura ambiente de 20°C )

Módulo elástico N/mm <sup>2</sup>	Peso específico g/cm <sup>3</sup>	Intervalo de fusión °C	Coefficiente de dilatación lineal 1/10 <sup>6</sup> K	Conductividad térmica W/m K	Resistividad eléctrica a 20°C - $\mu\Omega$ cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
69,500	2,70	615-655	23,5	T1-193 T5-209	T1-3,4 T5-3,1	T1-50,5 T5-55,5	-0,80

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T1	235	110	44	180	105	36	165	95	34	150	90	33	150	95	20
T5	255	165	28	200	150	24	195	150	23	185	145	22	165	140	18
T6	325	250	24	260	230	20	250	220	19	240	215	18	215	195	15

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T1	145	105	20	60	45	40	31	24	75	22	17	80	16	14	105
T5	140	125	20	60	45	40	31	24	75	22	17	80	16	14	105
T6	145	140	20	60	45	40	31	24	75	22	17	80	16	14	105

Rm N/mm<sup>2</sup> ; Rp N/mm<sup>2</sup> ; A 5,65 %

Según normas A.A.

### TRATAMIENTOS DEL ALUMINIO

Estado	Tratamiento de puesta en solución T°C	Medio de temple	Tratamientos de maduración artificial. Mantenimiento a T° en horas	Maduración natural.
T4	530°C± 5 °C	Aire forzado		8 días mínimo
T5	530°C± 5 °C	Aire forzado	8 horas a 175°± 5°C ó 6 horas a 185°± 5°C	
T6	530°C± 5 °C	Agua a 40°C máximo	8 horas a 175°± 5°C ó 6 horas a 185°± 5°C	

Intervalo de temperatura de forja: 400° – 480°C

Recocido total: 420°C, con enfriamiento lento hasta 250°C

Recocido contra acritud: 340°C

Ilustración 44: Propiedades del 6063 T5

### 5.3.1 Modificaciones del diseño anterior

Además del cambio en la sección de tubo mencionado en el apartado anterior, se han realizado los siguientes cambios en busca de unos mejores resultados y de abaratar el coste de fabricación.

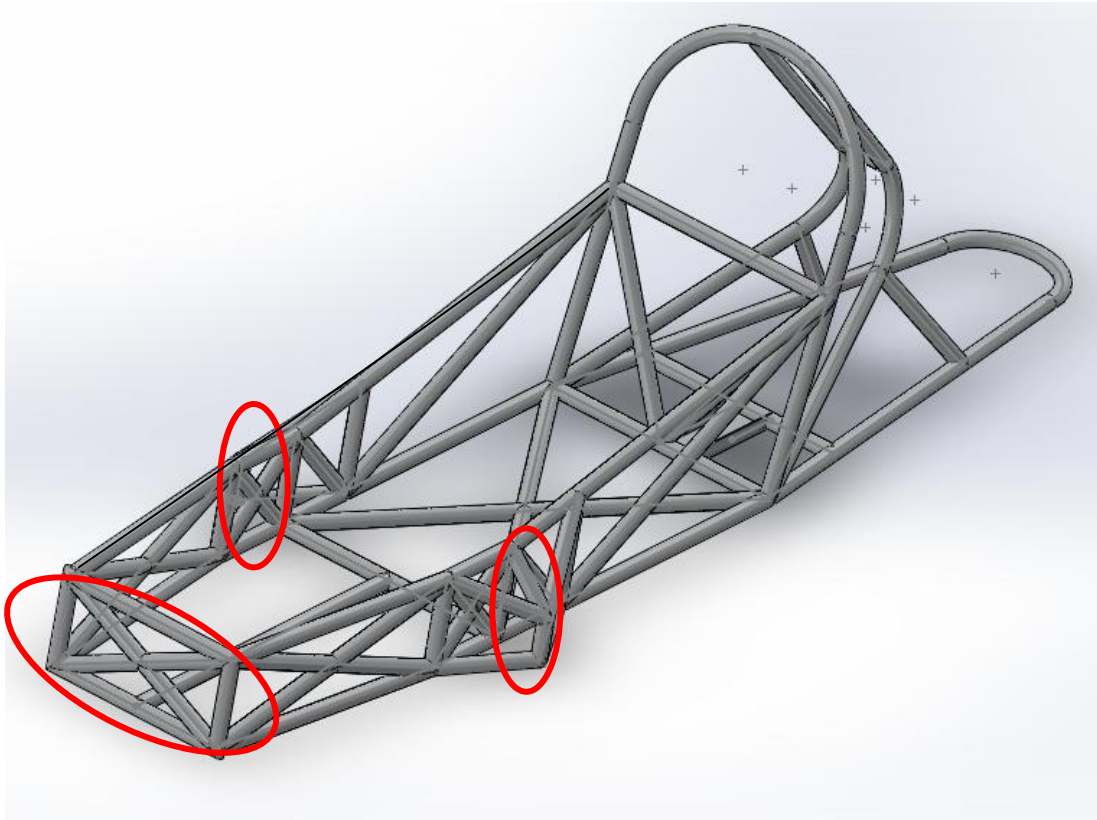


Ilustración 45: Cambios 1

Se han añadido dos tubos cruzados en la parte frontal para rigidizar la estructura frente a esfuerzos de torsión, así como para aumentar la superficie de impacto en caso de choque frontal.

Los triángulos de suspensión para la sujeción del eje delantero se han cambiado. Ahora incorporan más barras y son más bajos en su parte superior, simulando una estructura parecida a las suspensiones "push-rod" usadas en competiciones de monoplazas.

Por otra parte, la barra que forma el suelo de la estructura, antes formada por distintos elementos soldados ahora es una sola estructura doblada. La barra antivuelco también está formada de una sola pieza doblada, al igual que las barras que forman los laterales por la parte superior.

Todas estas agrupaciones aumentan la resistencia del conjunto y reducen su coste frente al modelo anterior.



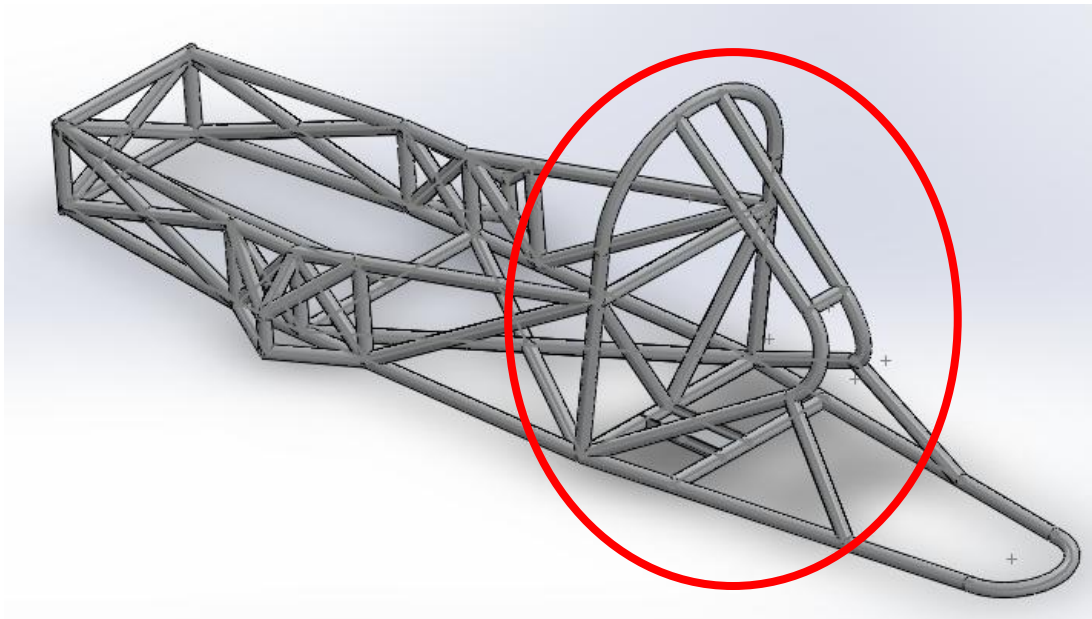


Ilustración 46: Cambios 2

La parte trasera ha cambiado completamente. Ahora se compone de dos tubos doblados para aumentar la rigidez de la estructura. En lugar de los dos salientes que servían de punto de apoyo para la rueda trasera, una barra horizontal ocupa ese nuevo punto de apoyo.

El ángulo de las barras que soportaban la antigua geometría en forma de triángulo han cambiado su ángulo adaptándose a la nueva geometría curva.

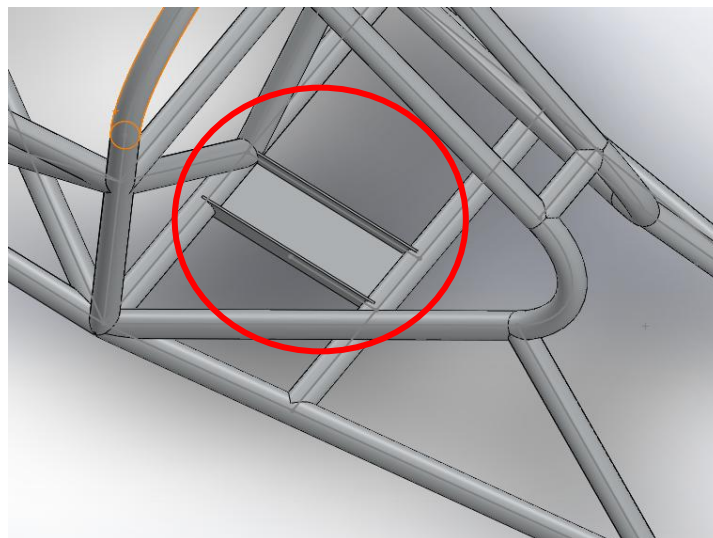


Ilustración 47: Cambios 3

Por último, el soporte del motor ahora está más centrado y se ajusta más a la forma del mismo. Su forma de perfil en "U" se ha dado la vuelta, de esta forma se reduce la altura del motor unos milímetros, lo cual hace bajar el centro de gravedad y la superficie se puede usar como bandeja recoge líquidos para las pequeñas fugas de aceite que se puedan generar, evitando así que se derramen por el circuito y dañen la estructura de fibra del carenado.

### 5.3.2 Imágenes del diseño final

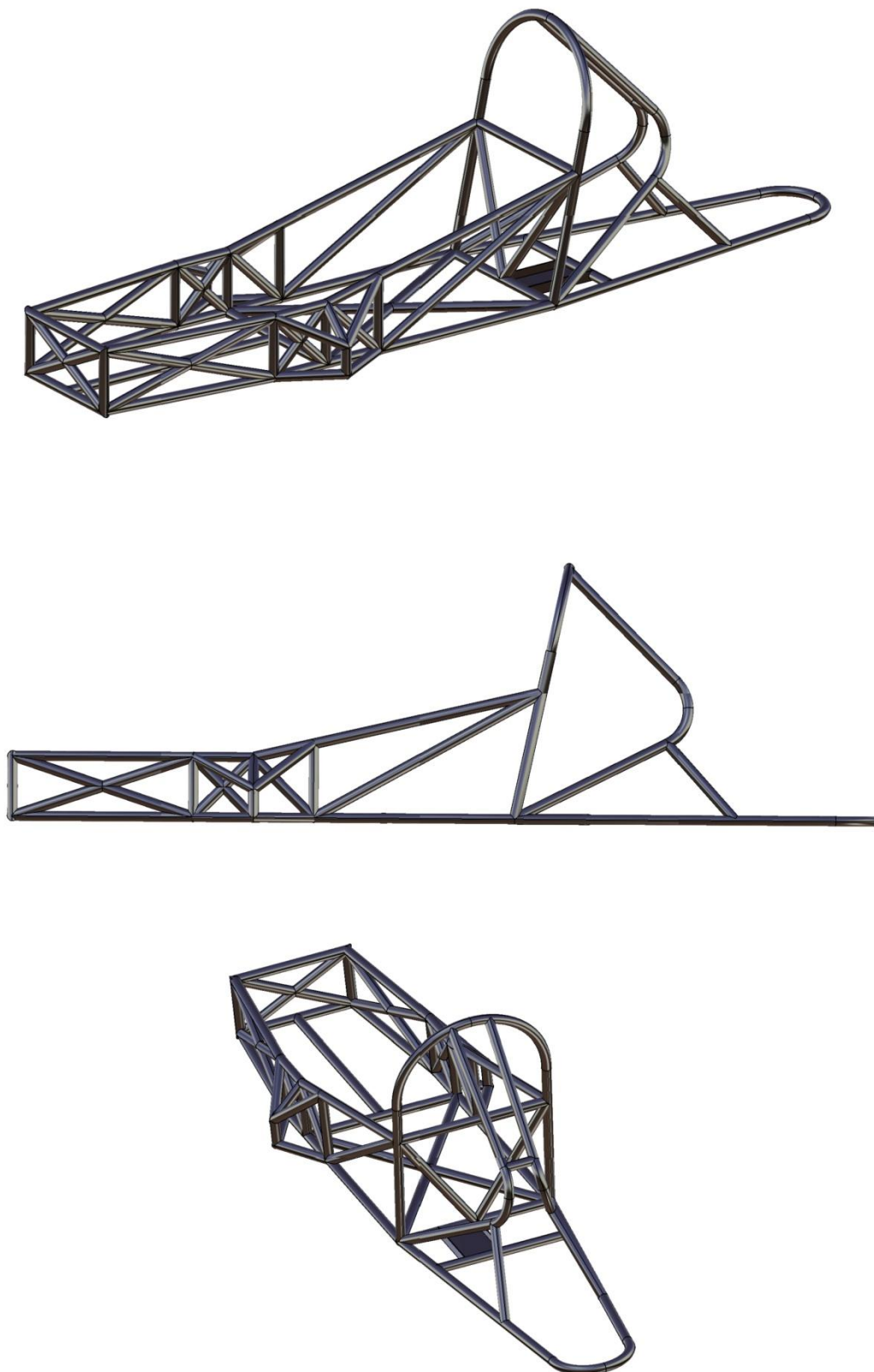


Ilustración 48: Diseño final renderizado

### 5.3.3 Uniones de los ejes

Uno de los puntos más importantes de un chasis es definir los puntos de unión de los ejes del vehículo, es decir, definir los puntos en los cuales se sostiene el chasis.

Como ya se ha mostrado en capítulos anteriores, el chasis se sustenta sobre el suelo por los puntos de unión de las suspensiones. En este caso, nuestro prototipo no precisa de suspensiones por varios motivos:

1. Peso
2. Simplicidad de diseño
3. Velocidad máxima alcanzada
4. Ángulo de dirección reducido
5. Movimientos suaves
6. Dimensiones
7. Centro de gravedad

El prototipo diseñado es muy ligero, y tiene un centro de gravedad muy bajo, es más, el centro de gravedad está muy direccionado por el piloto, la masa que tenga y la posición que este adopte.

El diseño del chasis es simple. Dado que el prototipo no circulará a altas velocidades debido a su unidad de potencia y se busca obtener un peso mínimo, el diseño no es complejo, y elementos como las suspensiones apenas suponen una mejora de la conducción, pero por el contrario implican un aumento circunstancial del peso.

A la par de lo mencionado, el ángulo de dirección es relativamente bajo, el suficiente para cumplir la normativa aplicable. Esto se debe a que el circuito no contiene curvas complejas, casi todas son curvas muy suaves para la velocidad media.

Y por último, las reducidas dimensiones de la carrocería y chasis en busca de la obtención del mínimo área de ataque hacen que el plantear un sistema de suspensión se resuma en más inconvenientes que ventajas.

Tras esto, los puntos de amarre del chasis serán directos al sistema de dirección en el eje delantero, y directos a los cojinetes de apoyo de la rueda motriz trasera.

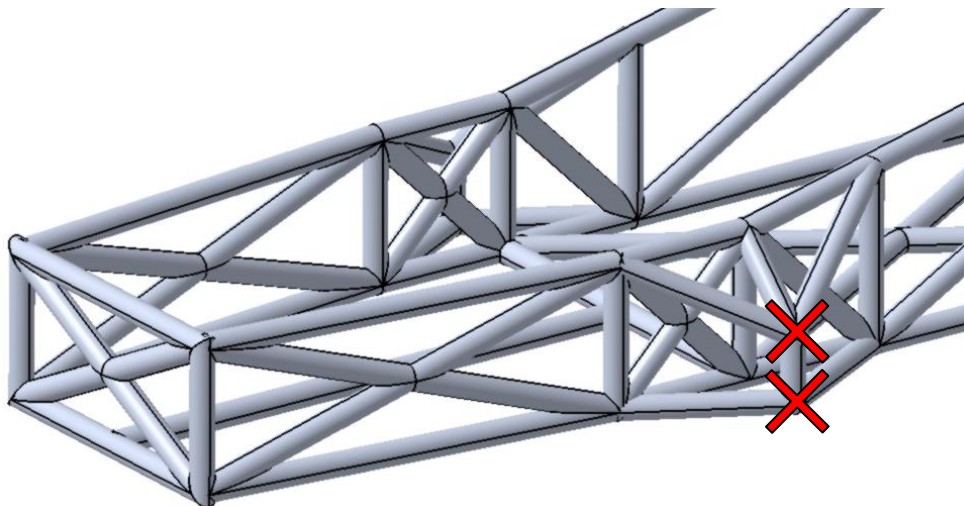


Ilustración 49: Puntos unión sistema dirección

El sistema más sencillo sería soldar dos pletinas en los puntos marcados con un taladro en el otro extremo y por ellas pasar un perno con dos casquillos de fricción. En la siguiente imagen se puede ver un sistema rudimentario pero efectivo de dirección.



Ilustración 50: Sistema de dirección básico

En lo que respecta a este documento, para el análisis de esfuerzos se tomará como punto de apoyo del eje delantero los dos puntos marcados, pues el sistema de fijación se debe considerar infinitamente rígido en este caso y su diseño no forma parte del alcance de este trabajo.

Para fijar el eje trasero, la rueda motriz se han eliminado los extremos abiertos del diseño anterior, si bien eran un punto débil para la resistencia de las barras al permitir la oxidación en el interior. En su lugar, una barra central permitirá fijar en ella dos bielas con un pasador que servirán para anclar la horquilla trasera, el elemento de sujeción de la rueda trasera que además permite el giro de esta misma.



Ilustración 51: Montaje sistema fijación eje trasero

El esquema anterior describe como podría ser el sistema de fijación del eje trasero compuesto por una biela, un pasador de bolas para restringir el giro de la biela y por último un casquillo de fricción para no dañar el eje

de la rueda. En el pie de la biela estaría la rueda trasera con el sistema de transmisión. Se trata de un sistema fácilmente desmontable para mantenimientos.

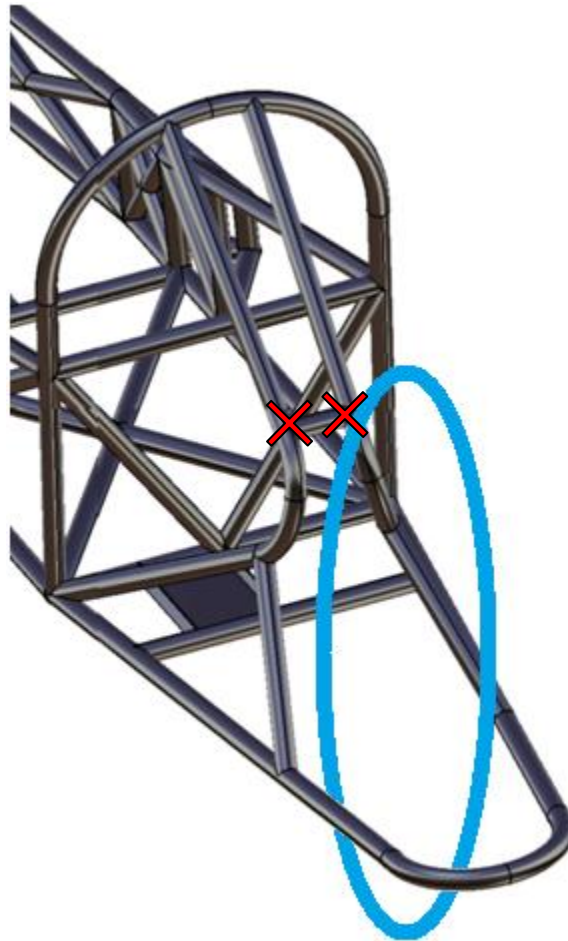


Ilustración 52: Puntos fijación y esquema rueda trasera

Por último, este modelo de anclaje permite variar la altura de la rueda colocando varios taladros seguidos para posicionar las bielas. Esta variación de la altura afectaría a la variación de altura total del vehículo respecto su eje Y, es decir una variación del pitch.

Como se indicaba anteriormente, estas pequeñas variaciones pueden variar el comportamiento aerodinámico de la carrocería, a favor o en contra. Esta configuración versátil confiere un punto extra en lo que respecta a la búsqueda del mejor resultado en la competición.

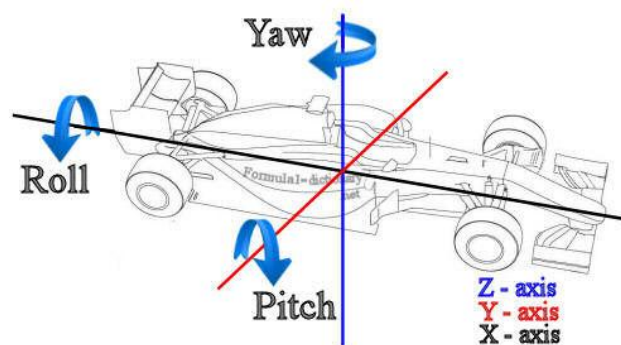


Ilustración 53: Ángulos variables en automóviles





## CAPÍTULO 6: ANÁLISIS Y RESULTADOS





## 6 CAPÍTULO 6: ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 6.1 Introducción

En este capítulo se recogen los resultados de los análisis de elementos finitos (FEA) a los que se ha sometido el chasis diseñado en el capítulo anterior.

Para estos resultados se ha utilizado un software de CAD como SolidWorks que utiliza el método FEM para la resolución de estos cálculos.[b]

La estructura ha sido sometida a un ensayo de frenada y aceleración, a ensayos de paso por curva, es decir aceleración lateral y ensayos a torsión, y por último los diferentes test que debe pasar la barra antivuelco en las previas de la competición.

Las cargas que tendremos en cuenta para los análisis son las siguientes:

- Motor 3.4 Kg
- Piloto 60 Kg
- Extintor 2.2 Kg

Las únicas restricciones en los resultados son de una rigidez a torsión igual o mayor a los 700 Nm/°, y deformaciones muy próximas a cero en los ensayos específicos de la barra antivuelco. Para el resto de ensayos buscaremos al menos igualar los del modelo base.

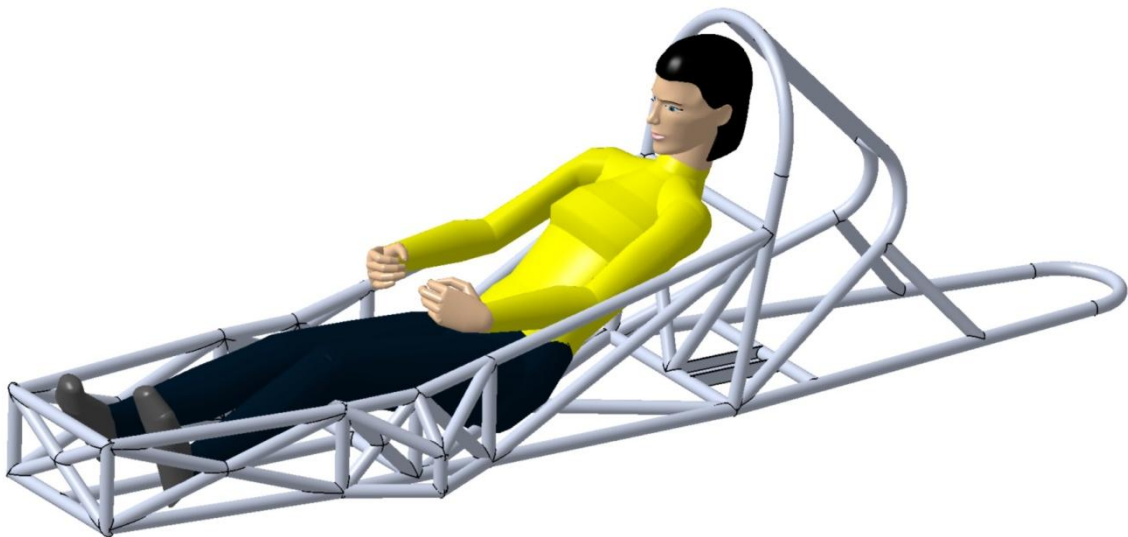


Ilustración 54: Representación piloto y chasis

## 6.2 Frenada

Para el análisis de frenada se simula una frenada brusca en la cual las tres ruedas se bloquean. Para realizar esta simulación se colocan apoyos fijos en los puntos de apoyo de cada rueda, siendo las barras verticales de los triángulos de dirección, punto donde se anclará el trapecio del sistema de dirección y la unión entre las barras traseras.

Se aplica un valor de deceleración de 1.5g (1.5 veces el peso) en todas las cargas en sentido opuesto al avance y en el valor de gravedad.

De esta forma, el valor de la gravedad valdrá  $14.715 \text{ m/s}^2$ , la masa del piloto será de 882.9 N, el extintor equivaldrá a una fuerza de 32.37 N, y el motor a 48.56 N.

En la siguiente imagen se ven los esfuerzos a los que queda sometida la estructura<sup>◇</sup>.

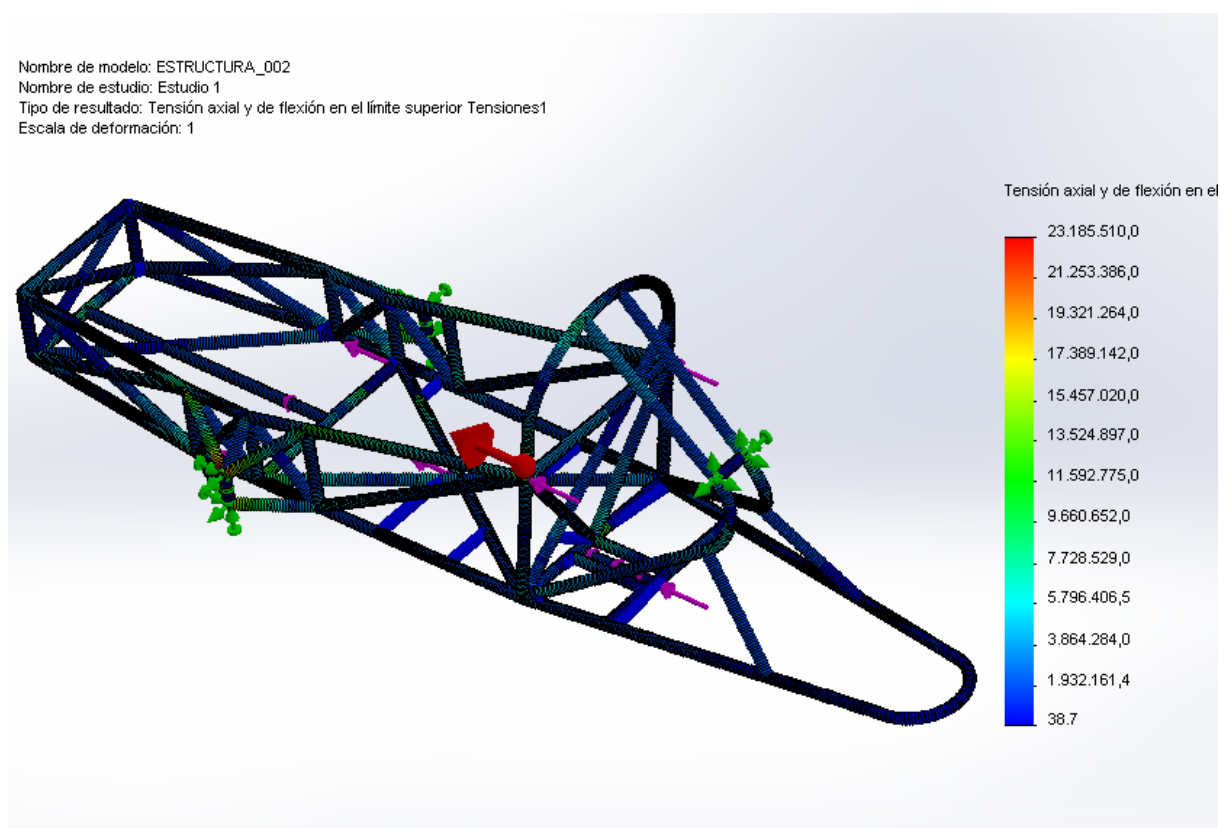


Ilustración 55: Tensiones en frenada

El valor máximo de tensión alcanzado en el ensayo es de  $23185510.0 \text{ N/m}^2$ , lo que equivale a **23.18 MPa**. El límite elástico del material según SolidWorks está en 145 MPa, lo que nos da un coeficiente de seguridad de 6.25.

Trabajar por debajo del 50% del límite elástico garantiza la ausencia de grietas por fatiga en el material antes de su esperanza de vida natural.

<sup>◇</sup> En el mallado del diseño se aprecian barras que no están en el diseño, esto se debe a unos errores de gráfica del procesador, pero no afectan en absoluto a los resultados (ver ilustración 26).

Nombre de modelo: ESTRUCTURA\_002

Nombre de estudio: Estudio 1

Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1

Escala de deformación: 1

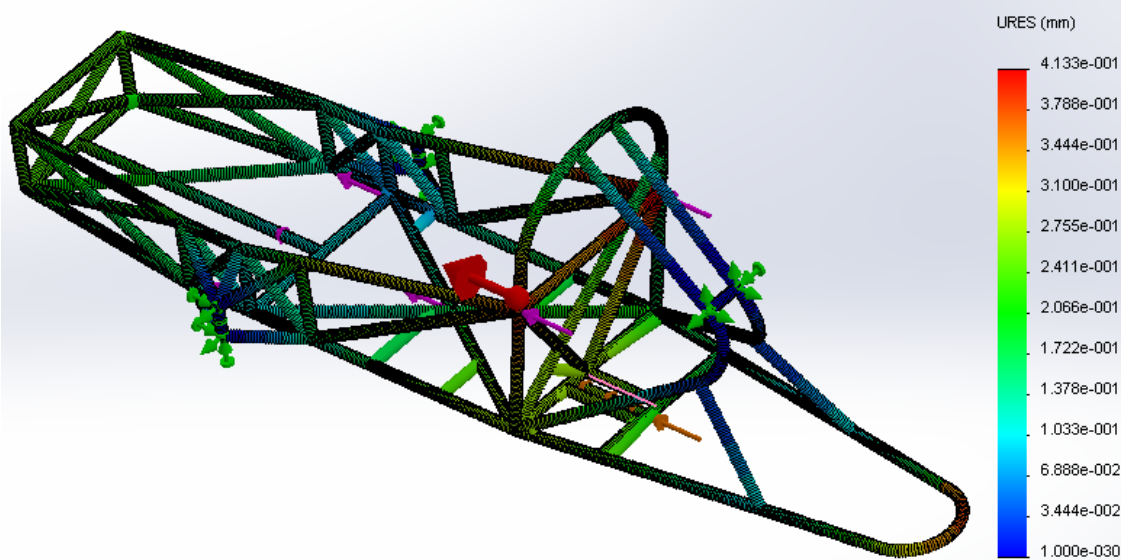


Ilustración 56: Deformaciones en frenada

En cuanto a la deformación, el resultado máximo obtenido es de **0.413 mm** en el punto más crítico.

### 6.3 Aceleración

El ensayo de aceleración es muy parecido al de frenada. En este caso se somete toda la estructura a una aceleración de 1.5g en sentido de la marcha, utilizando los mismo puntos de apoyo y las mismas cargas. Es decir, se cambia el sentido de las cargas.

Nombre de modelo: ESTRUCTURA\_002

Nombre de estudio: Estudio 1

Tipo de resultado: Tensión axial y de flexión en el límite superior Tensiones1

Escala de deformación: 1

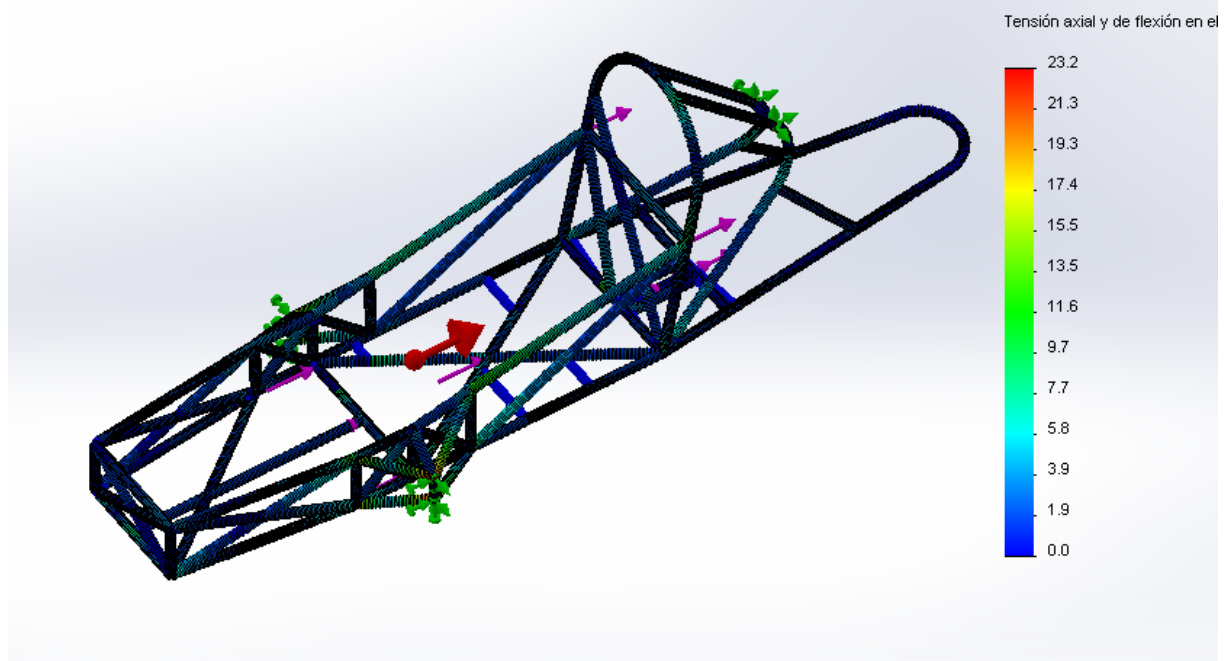


Ilustración 57: Tensiones en aceleración

Como se puede observar, los resultados son idénticos al ensayo anterior. El esfuerzo máximo al que está sometida la estructura es de **23.2 MPa**, frente a los 145 MPa del módulo de elasticidad del material, obtenemos un coeficiente de seguridad de **6.25**.

Nombre de modelo: ESTRUCTURA\_002

Nombre de estudio: Estudio 1

Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1

Escala de deformación: 1

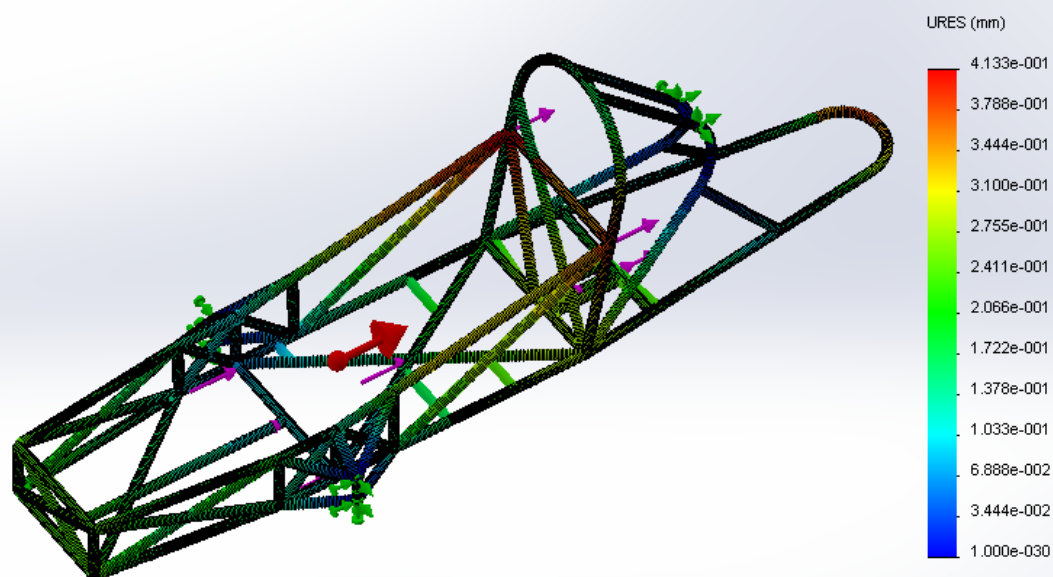


Ilustración 58: Deformaciones en aceleración

Como en el caso anterior, la deformación máxima de la estructura se encuentra en los puntos de apoyo de la espalda del piloto, siendo esta deformación de **0.413 mm**, prácticamente indetectable y dentro de los valores de deformación elástica del material.



## 6.4 Aceleración lateral

Para estudiar el paso por curva del chasis es necesario someterlo a cargas laterales. En este caso, se va a someter a la estructura a una aceleración de  $1g$  en sentido perpendicular al de marcha. Se mantienen los apoyos empotrados en los anclajes de las ruedas, que son los puntos de contacto con el asfalto y los que someten al sólido a cambiar de dirección.

Para este ensayo, el valor de la aceleración de la gravedad valdrá  $9.81 \text{ m/s}^2$ , el peso del piloto será una fuerza de  $588.6 \text{ N}$ , el extintor  $31.58 \text{ N}$  y el motor  $33.54 \text{ N}$ , todas las fuerzas con el mismo sentido y dirección.

Con esto, analizaremos la respuesta de las barras cuando el conjunto toma una curva pronunciada.

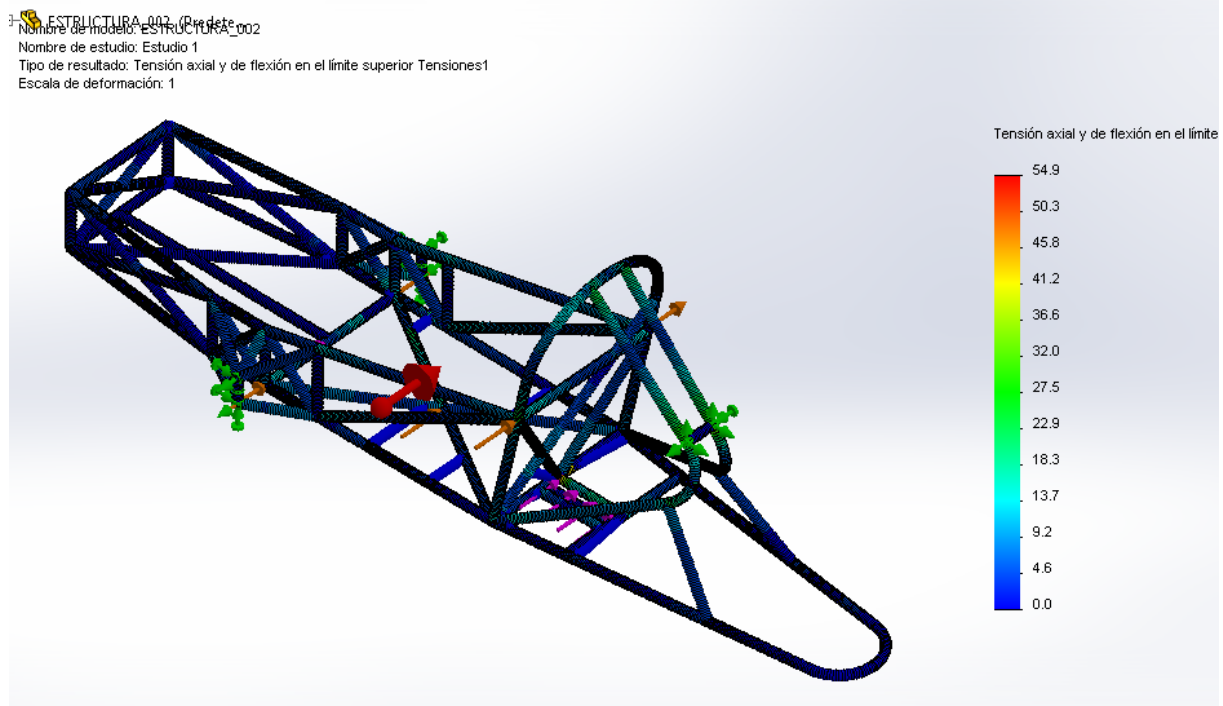


Ilustración 59: Tensiones en aceleración lateral

En este ensayo, la tensión máxima obtenida es mayor. Se ha obtenido un valor de **54.9 MPa**, valor bastante bueno que sigue estando por debajo del límite elástico del material, en este caso trabaja con coeficiente de seguridad de 2.64.

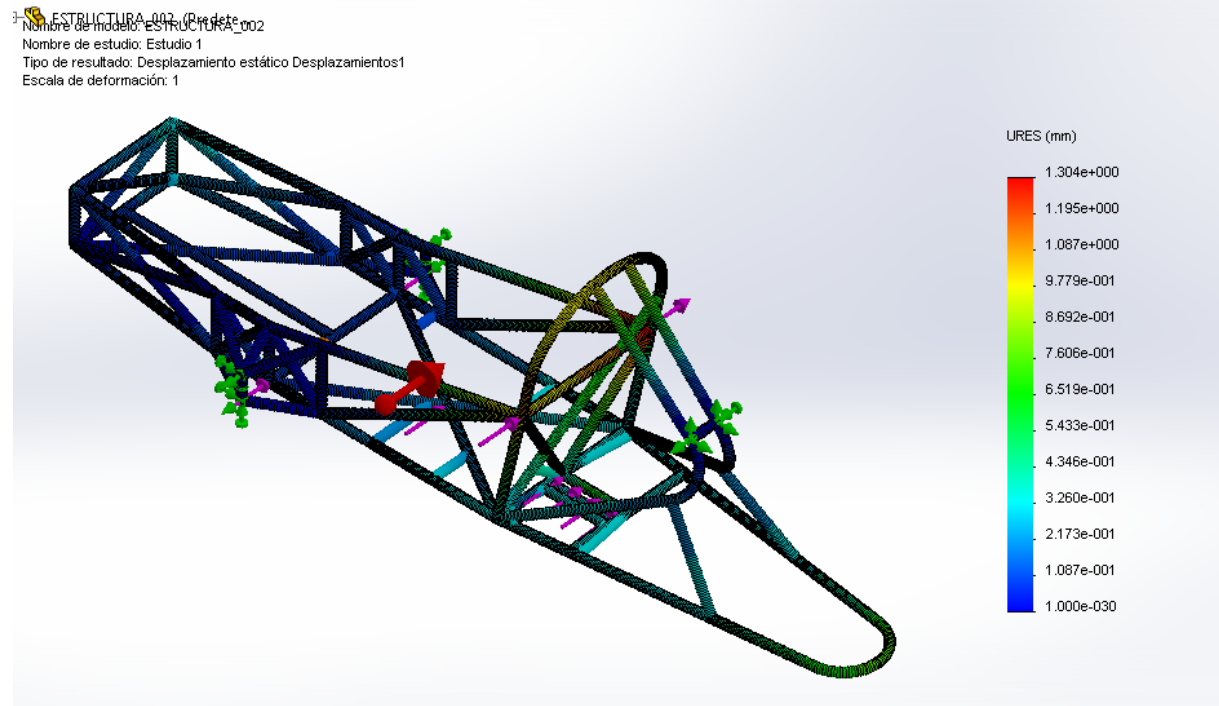


Ilustración 60: Deformaciones en ensayo lateral

En cuanto a las deformaciones, se aprecia una deformación máxima en el punto de apoyo de la espalda del conductor, con un valor de **1.34mm**. Dicho valor sigue siendo casi indetectable por el piloto cuando está circulando en el prototipo.

## 6.5 Torsión

En el ensayo de torsión no se tienen en cuenta las cargas de piloto y resto de elementos. Para este ensayo se somete un punto de apoyo del vehículo a una carga puntual mientras que los otros dos apoyos permanecen fijos.

Dado que es un modelo de 3 ruedas, se realizarán dos ensayos. En el primero se someterá al triángulo de dirección izquierdo a la carga puntual, manteniendo el apoyo trasero y el opuesto como fijos, y en el segundo ensayo se realizará al contrario.

Se realizan dos ensayo dado que la geometría de diseño no guarda simetría, el apoyo del motor rompe esta simetría.

### 6.5.1 Ensayo de torsión 1

Nombre de modelo: ESTRUCTURA\_002  
Nombre de estudio: Estudio 2  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 2000

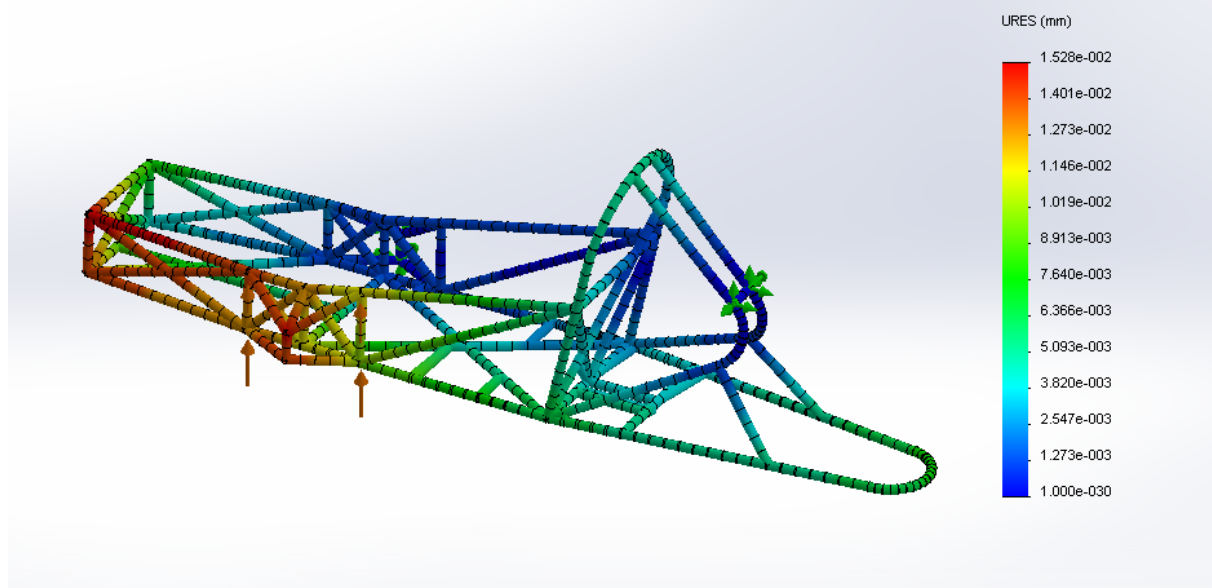


Ilustración 61: Reparto cargas ensayo torsión 1

Como se muestra en la imagen, para este primer ensayo se ha colocado la carga puntual en el triángulo de suspensión izquierdo según el sentido de la marcha. Se colocan las cargas en los cuatro puntos de sujeción de dicho triángulo.

Nombre de modelo: ESTRUCTURA\_002

Nombre de estudio: Estudio 2

Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1

Escala de deformación: 2000

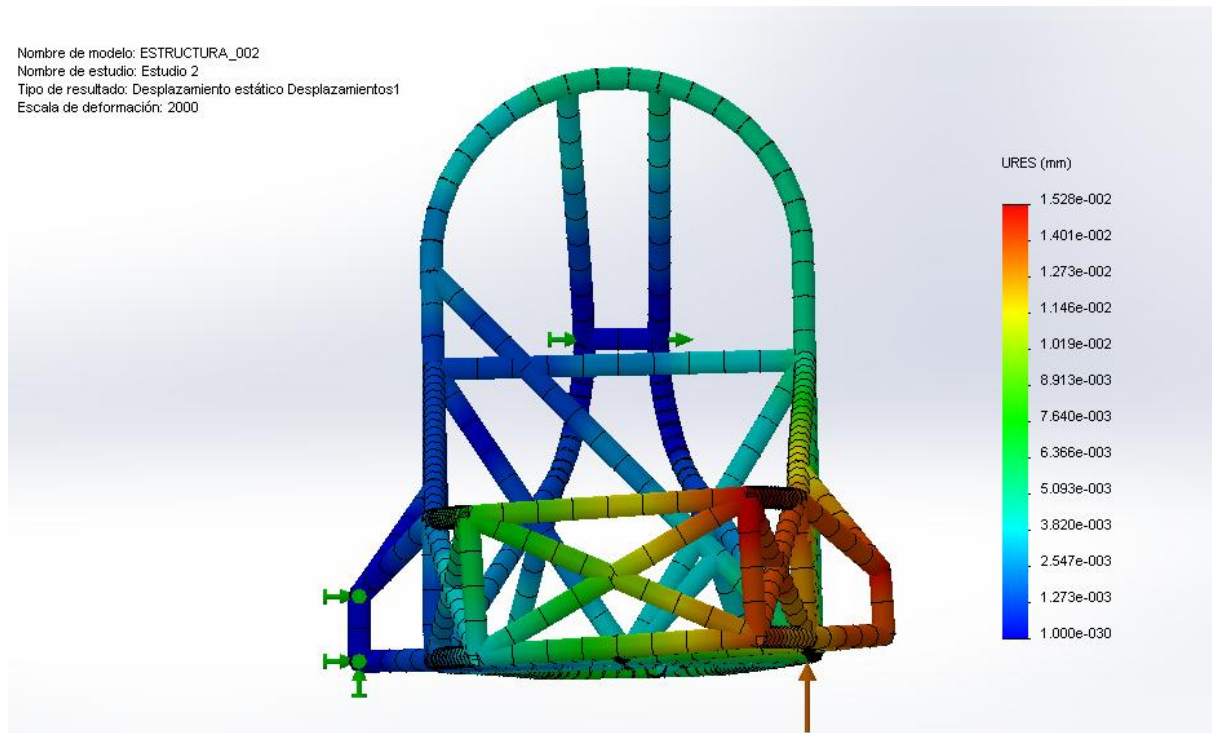


Ilustración 62: Ensayo de torsión 1

Para calcular el ángulo girado, debemos conocer el desplazamiento en cada uno de los puntos de anclaje del triángulo de suspensión. Con este desplazamiento y la distancia horizontal a su punto de apoyo, calcularemos ese ángulo para los cuatro puntos. Nos quedaremos con el valor mayor para calcular la rigidez.

$$\phi_{1.1} = \tan^{-1} \left( \frac{0.01401}{400} \right) = 2.0067 \times 10^{-3} \text{°}$$

$$\phi_{1.2} = \tan^{-1} \left( \frac{0.01237}{400} \right) = 1.7718 \times 10^{-3} \text{°}$$

$$\phi_{1.3} = \tan^{-1} \left( \frac{0.01146}{400} \right) = 1.6415 \times 10^{-3} \text{°}$$

$$\phi_{1.4} = \tan^{-1} \left( \frac{0.00891}{400} \right) = 1.2762 \times 10^{-3} \text{°}$$

Una vez calculados los ángulos de giro de la estructura, tomamos el mayor valor de los cuatro para calcular la rigidez del ensayo bajo la siguiente fórmula.

$$K_1 = \frac{F \cdot L}{\phi} = \frac{4N \cdot 400mm}{2.0067 \times 10^{-3} \text{°}} = 797.32 \text{ Nm/°}$$

Se ha obtenido un resultado muy favorable, casi 100 Nm/° por encima del valor mínimo que se ha impuesto como criterio de diseño.

### 6.5.2 Ensayo de torsión 2

Debemos comprobar el mismo ensayo en el otro triángulo de suspensión para verificar los resultados anteriores, y dado que la estructura no es simétrica, utilizaremos la media los dos obtenidos como constante de rigidez.

Para este ensayo se cambian las cargas del eje delantero por los apoyos al otro lado del mismo eje, es decir a la inversa que en el ensayo 1. La carga sigue siendo puntual, con valor de 1N en dirección vertical y sentido ascendente.

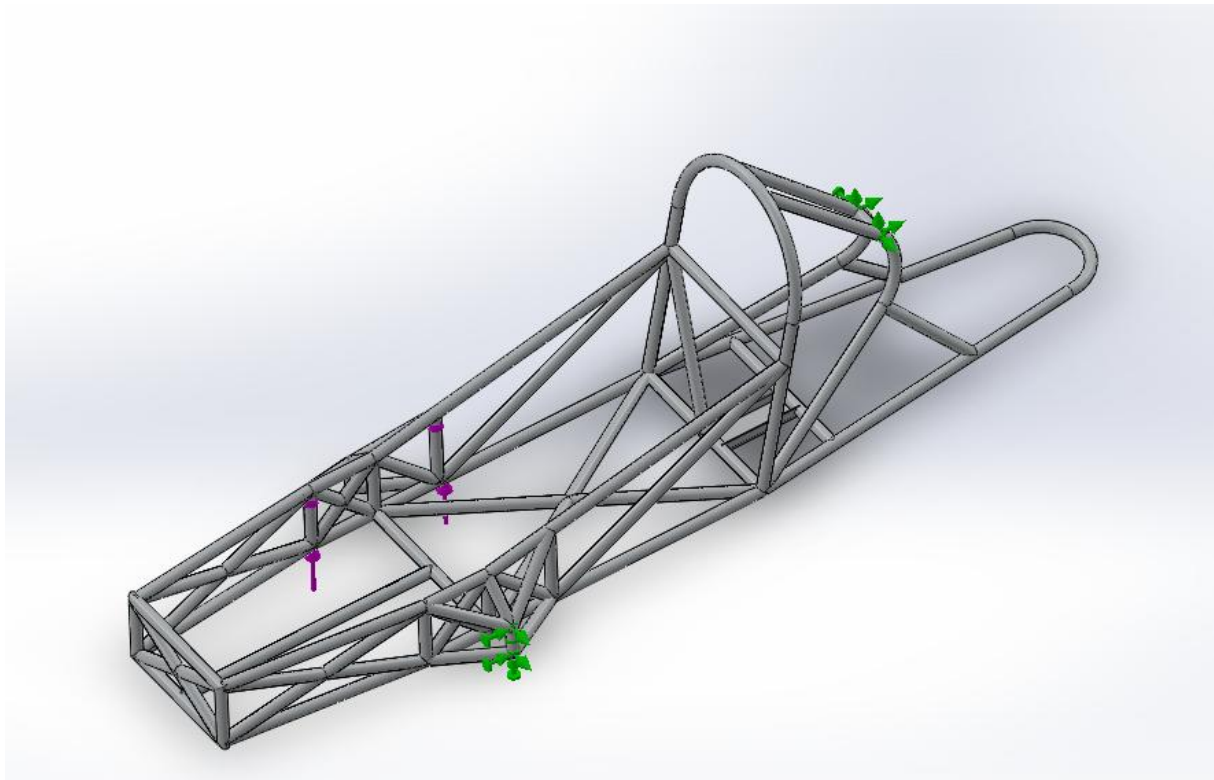


Ilustración 63:Ensayo de torsión 2

Nombre de modelo: ESTRUCTURA\_002  
Nombre de estudio: Estudio 2  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 2000

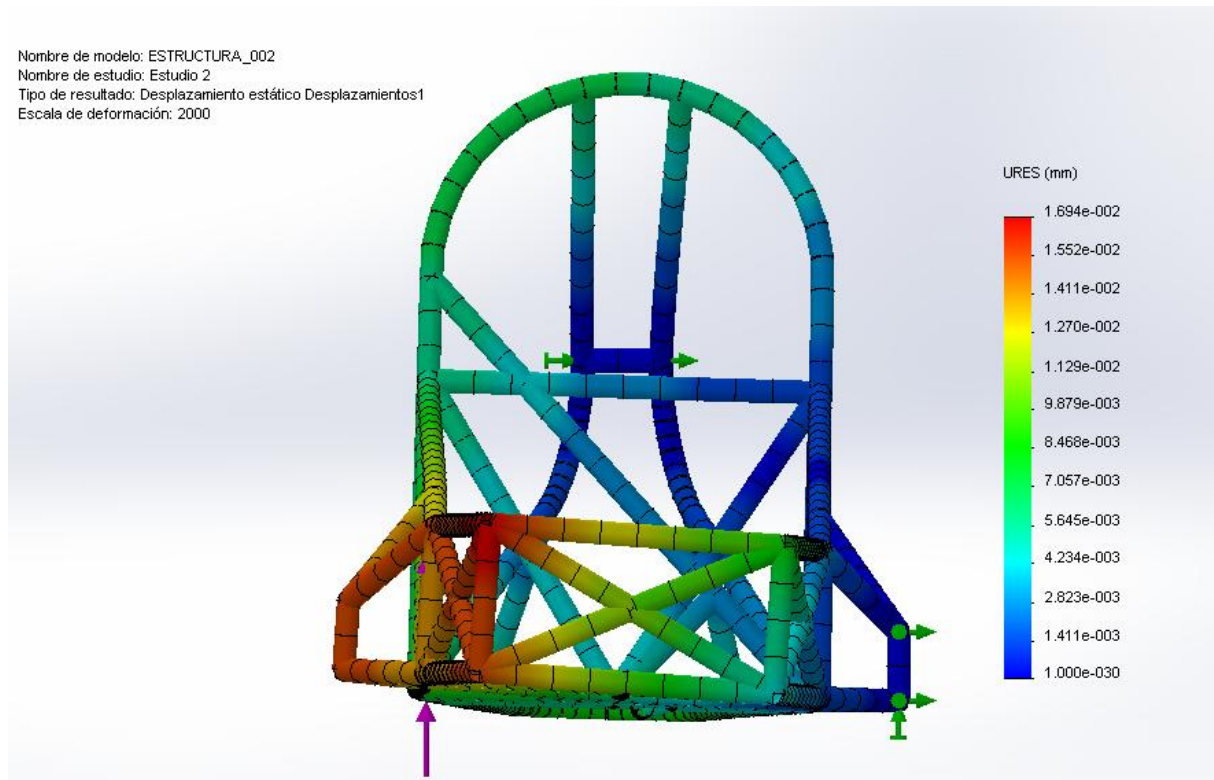


Ilustración 64: Resultados del ensayo de torsión 2

Al igual que el primer ensayo, calculamos los giros de los cuatro puntos y tomamos el de mayor valor como el más crítico para determinar la rigidez.

$$\phi_{2.1} = \tan^{-1} \left( \frac{0.01485}{400} \right) = 2.127 \times 10^{-3} \text{°}$$

$$\phi_{2.2} = \tan^{-1} \left( \frac{0.01411}{400} \right) = 2.021 \times 10^{-3} \text{°}$$

$$\phi_{2.3} = \tan^{-1} \left( \frac{0.01270}{400} \right) = 1.819 \times 10^{-3} \text{°}$$

$$\phi_{2.4} = \tan^{-1} \left( \frac{0.00987}{400} \right) = 1.413 \times 10^{-3} \text{°}$$

De la misma forma, calculamos la rigidez para este lado de la siguiente forma.

$$K_1 = \frac{F \cdot L}{\phi} = \frac{4 \text{ N} \cdot 400 \text{ mm}}{2.127 \times 10^{-3} \text{°}} = 752.23 \text{ Nm/°}$$

Por último, calculamos la media para obtener la **constante de rigidez de toda la estructura**.

$$K = \frac{K_1 + K_2}{2} = 774.77 \text{ Nm/°}$$



El valor de la rigidez total sigue siendo un resultado bastante favorable bajo las condiciones impuestas.

## 6.6 Test de barra antivuelco

Como ya se ha indicado en capítulos anteriores, la normativa de la competición (SEM) obliga a realizar una serie de ensayos sobre la barra antivuelco con el fin de garantizar la seguridad del piloto en caso de vuelco.

Este ensayo no destructivo consiste en aplicar una fuerza de 700N sobre el punto más alto de la barra en varias direcciones, perpendicular, horizontal y trasversal, cada una de ellas en los dos sentidos.

Para que dicho ensayo sea satisfactorio, la barra antivuelco no debe presentar deformación alguna.

Además de la fuerza de teste aplicada en varias direcciones y sentidos, la estructura estará sometida al peso del piloto, el motor y el extintor en condiciones normales, y los puntos de apoyo se fijan en los anclajes de las ruedas al chasis.

### 6.6.1 Ensayo 1

En este primer ensayo sometemos al arco principal a una carga vertical en sentido ascendente de 700N.

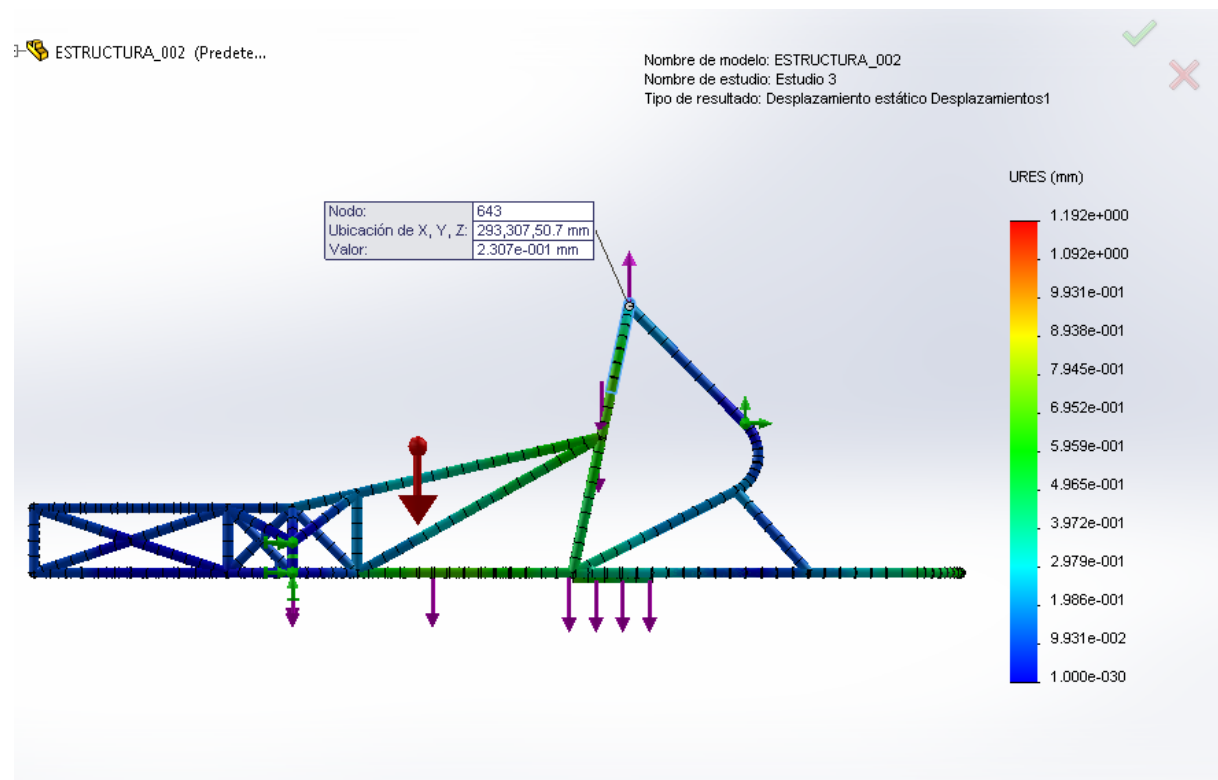


Ilustración 65: Ensayo 1

Como se puede apreciar en la imagen, en el punto superior de la barra antivuelco se ha obtenido un resultado de **0.230 mm**.

Podemos determinar que una deformación inferior al milímetro es despreciable dado que no se puede apreciar sin usar métodos calibrados de medición.

## 6.6.2 Ensayo 2

Para este ensayo se va a colocar la carga de pruebas en la misma dirección pero en sentido contrario, es decir vertical descendente.

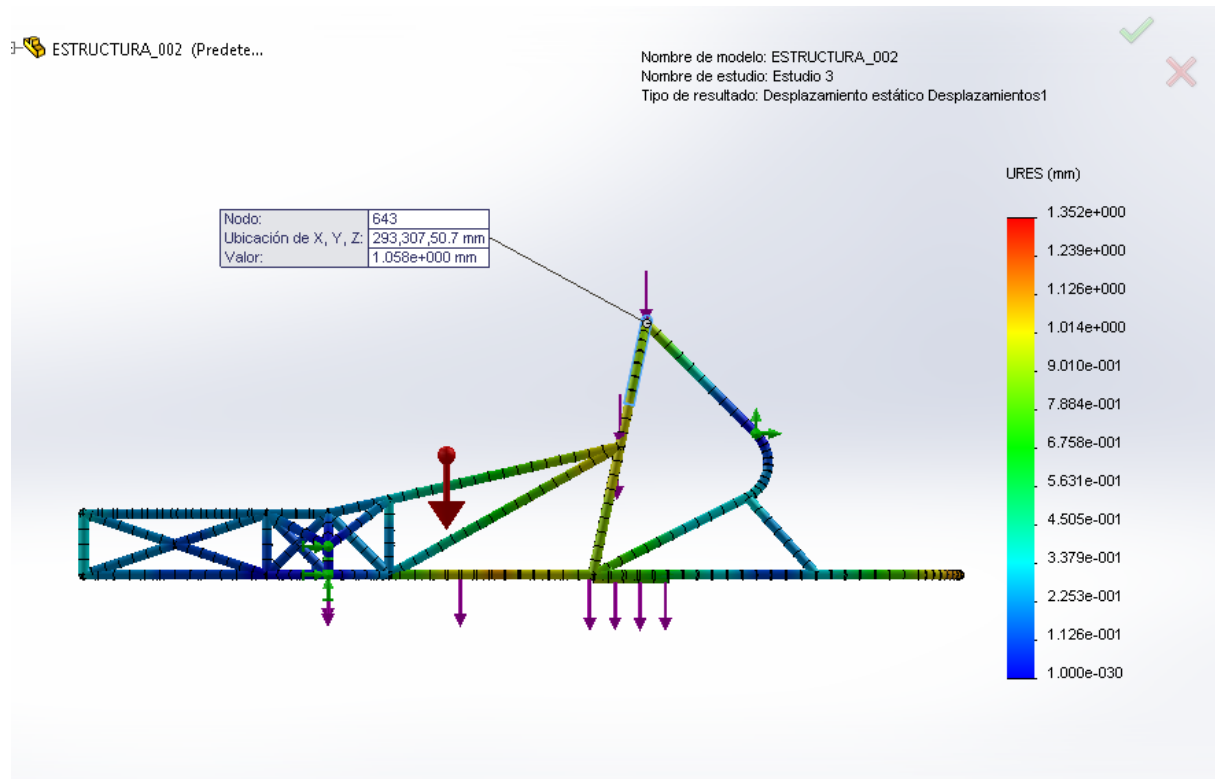


Ilustración 66: Ensayo 2

En este caso se obtiene una deformación mayor, de **1.058mm**, la cual sigue siendo una deformación muy pequeña. Por normativa, el borde superior del casco debe encontrarse a una distancia de al menos 50mm del borde superior de la barra antivuelco, en este caso hay más de 48mm de margen.

Para asegurarnos que la deformación no es crítica, comprobaremos el valor de la tensión para saber si está dentro del límite elástico.

La tensión obtenida en ese nodo es de **19.780 MPa**, la cual está incluso por debajo del 50% del límite elástico (145 MPa), por lo que aunque el vehículo estuviera volcando asiduamente, situación en la cual se podría ejercer dicha carga en ese sentido, no hay riesgo de fractura por fisura, la vida de trabajo de la sección no está comprometida.

Por lo tanto, se aprueba el valor obtenido.

### 6.6.3 Ensayo 3

En el tercer ensayo se va a colocar la carga en la misma dirección que el avance. Para este ensayo número 3, la carga se colocará paralela al suelo y hacia atrás.

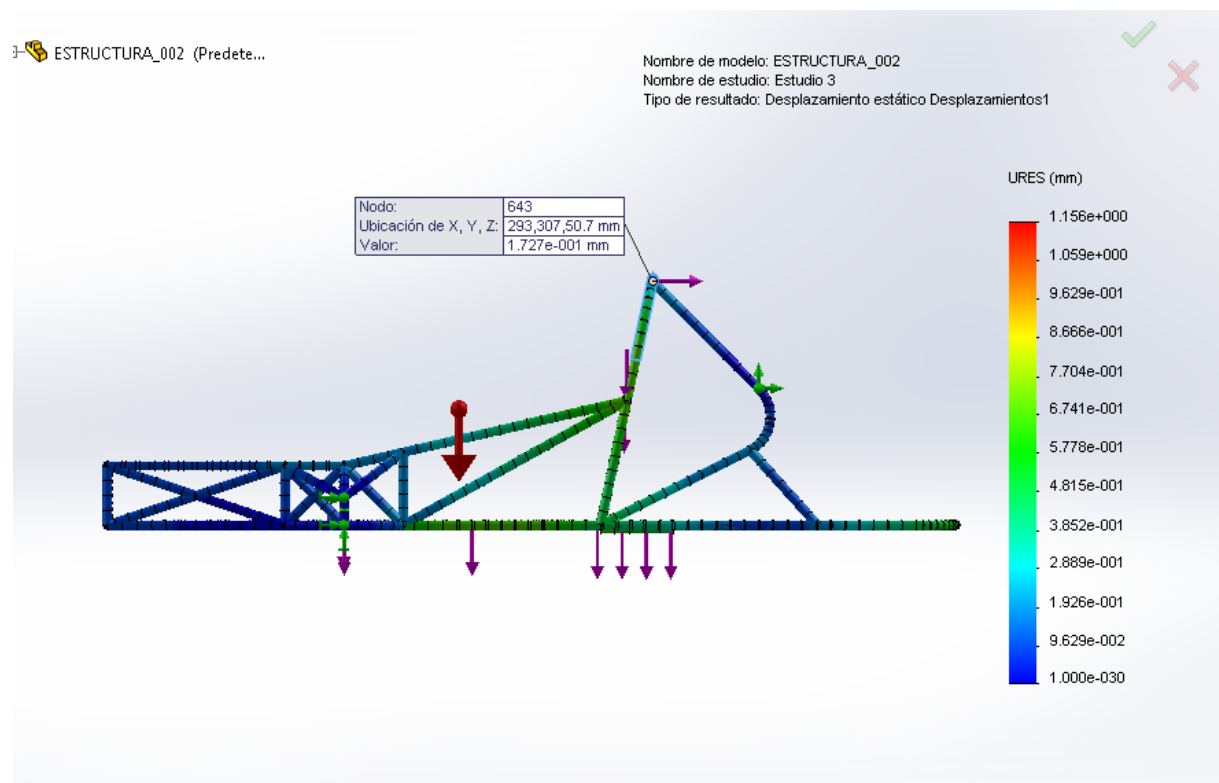


Ilustración 67: Ensayo 3

En este ensayo se ha obtenido un valor de **0.172mm** en la parte superior del arco principal, un resultado más que aceptable.

#### 6.6.4 Ensayo 4

Este cuarto ensayo comparte la dirección del anterior, pero en sentido opuesto. En este caso la carga va paralela al avance y en sentido opuesto.

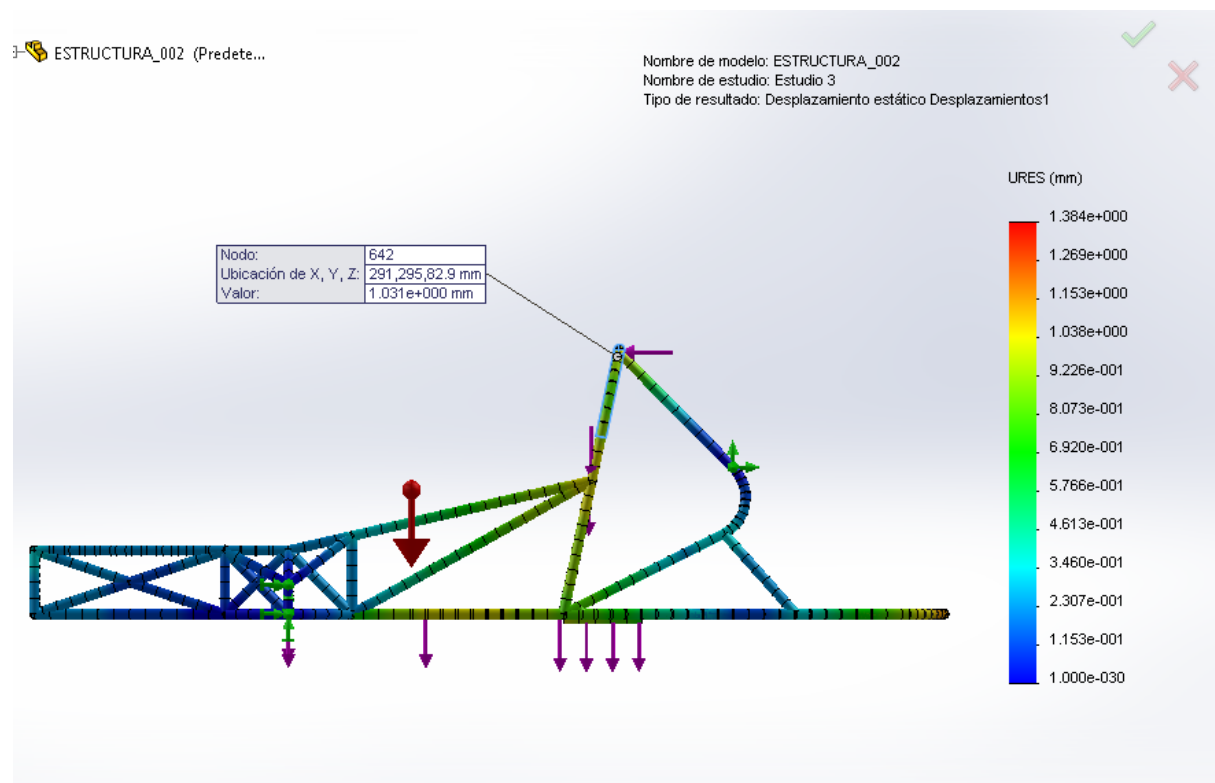


Ilustración 68: Ensayo 4

En este caso, el resultado obtenido es de **1.031mm**, que como se ha demostrado en casos anteriores es aceptable para el ensayo y el diseño.

### 6.6.5 Ensayo 5

En este ensayo se someterá el arco principal a una carga trasversal en sentido de izquierda a derecha.

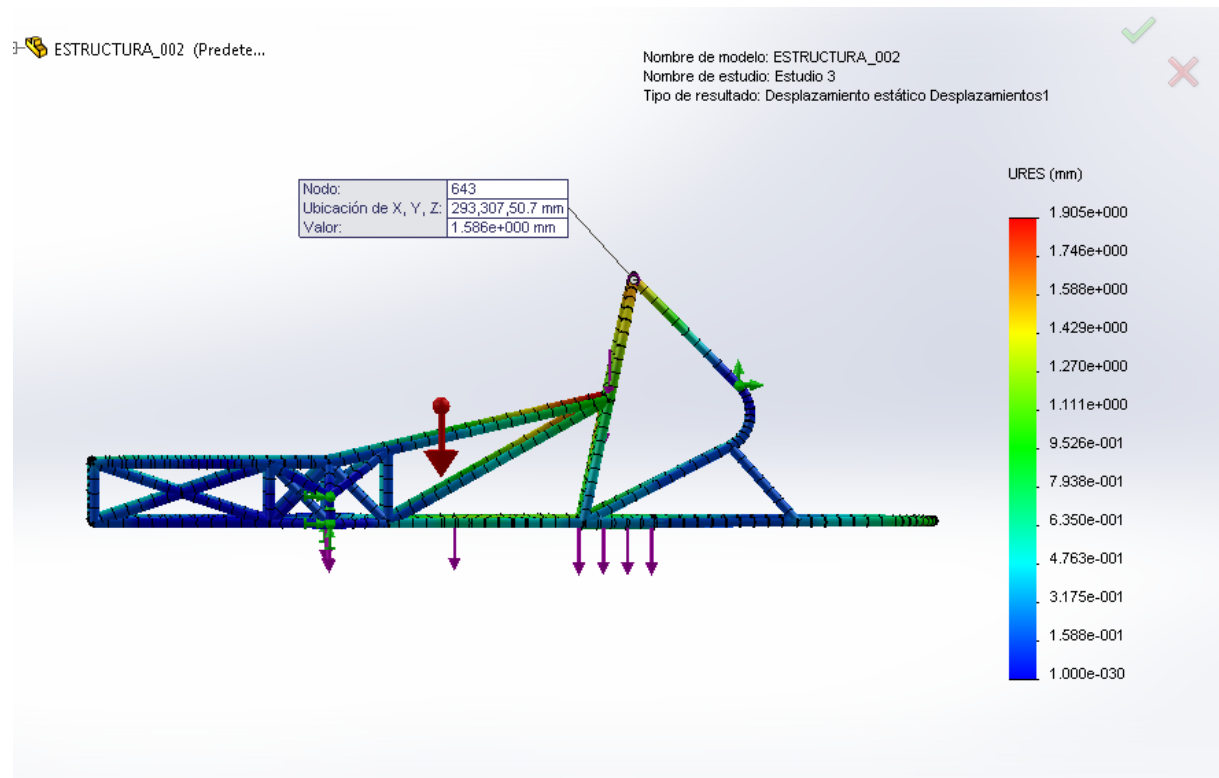


Ilustración 69: Ensayo 5

El resultado obtenido es **1.586mm**, pero como en casos anteriores se encuentra dentro del límite elástico del material y por tanto es admisible.

### 6.6.6 Ensayo 6

Para este último ensayo someteremos la estructura a una fuerza de 700N en dirección transversal y en sentido de derecha a izquierda, la inversa del ensayo anterior.

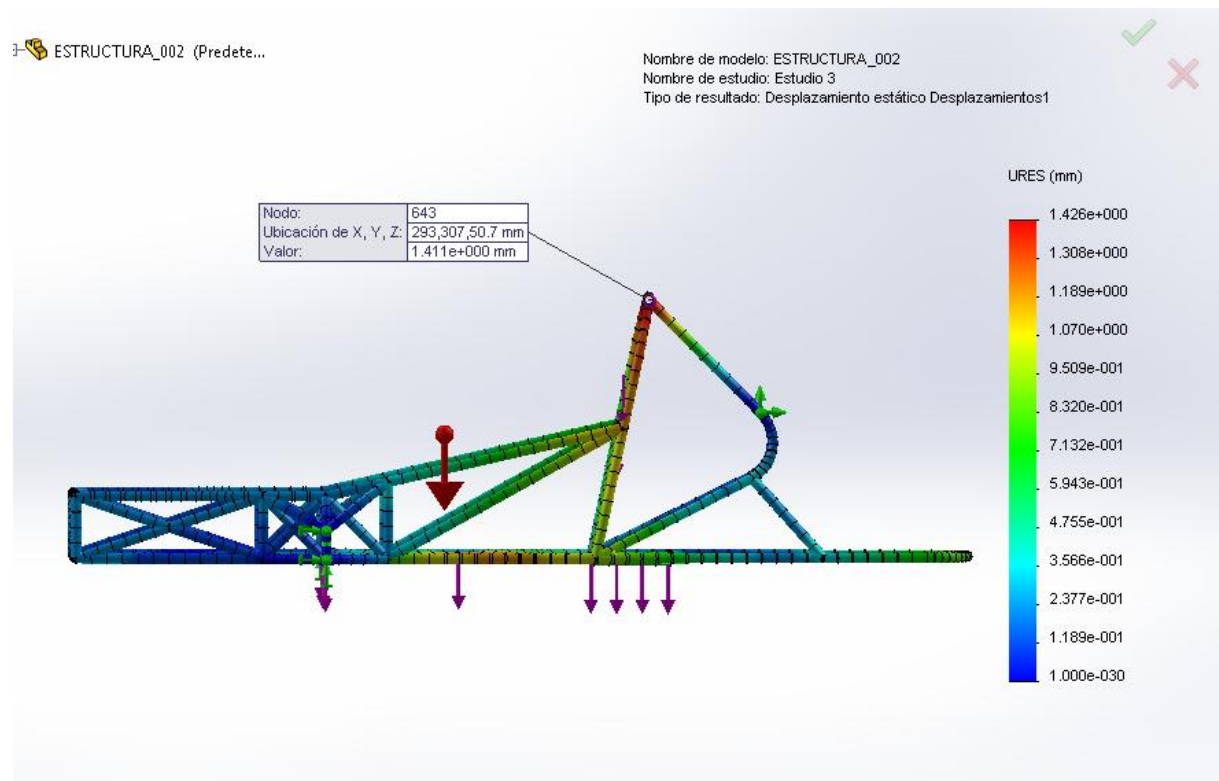


Ilustración 70: Ensayo 6

En este último caso el resultado obtenido es parecido al opuesto, con una deformación en el punto más alto de la barra antivuelco de **1.411mm**.



### 6.6.7 Resultados anteriores y modelos descartados

Aunque todos los apartados anteriores muestran resultados muy favorables en los ensayos, dichos valores corresponden al último modelo, o mejor dicho el modelo definitivo diseñado.

Otros modelos anteriores obtuvieron peores resultados y fueron evolucionando hasta el modelo ya presentado. En las siguientes tablas se hace acopio de los algunos avances importantes, aunque todos ellos resultados fallidos.

El proceso de iteración seguido se ha basado en atacar primer el punto débil de importancia detectado, siempre comprobando si los resultados en otros puntos no se ve deteriorado.

Para un cálculo rápido se ha utilizado un mallado "grueso", como indica la herramienta de FEM/FEA SolidWorks. Para los resultados finales (los recopilados) se ha utilizado un mallado "fino", el cual genera unos valores más parecidos a los reales. Destacar como en muchas ocasiones un mallado poco riguroso puede dar falsos buenos resultados, los cuales desaparecen con el mallado que cuenta con más nodos para el cálculo.

#### A. Primer modelo

Reducción de espesor de tubos del modelo base por un valor estándar: 25x21mm (2mm de pared).

Ensayo	Tensión máx.	Deformación máx.	Constante de rigidez
Frenada	88.3 MPa	3.128 mm	N/A
Aceleración	88.3 MPa	3.128 mm	N/A
Aceleración lateral	146.9 MPa	14.106 mm	N/A
<b>ENSAYO CANCELADO</b>			

Tabla 5: Resultados primer modelo

Tras comprobar que el modelo supera el límite elástico, por tanto sufriría deformaciones permanentes en uno de los ensayos, este queda descartado.

#### B. Segundo modelo

Cambio de parte trasera. Cambio a un solo tubo doblado. Se añade refuerzo central y se varía la orientación de los apoyos inferiores.

Ensayo	Tensión máx.	Deformación máx.	Constante de rigidez
Frenada	69.1 MPa	1.913 mm	N/A
Aceleración	69.1 MPa	1.913 mm	N/A
Aceleración lateral	101.8 MPa	5.870 mm	N/A
Torsión	N/A	N/A	568.45 Nm/°
<b>ENSAYO CANCELADO</b>			

Tabla 6: Resultados segundo modelo

Tras los resultados obtenidos en el ensayo de torsión, el modelo queda descartado. El objetivo mínimo es obtener 700 Nm/°

## C. Tercer modelo

Cambios en triángulos de suspensión delantera. Refuerzo superior, inclinación para generar geometría más rígida y compacta y se añaden dos tubos en cruz en el frontal.

Ensayo	Tensión máx.	Deformación máx.	Constante de rigidez
Frenada	54.2 MPa	1.208 mm	N/A
Aceleración	54.2 MPa	1.208 mm	N/A
Aceleración lateral	90.5 MPa	4.071 mm	N/A
Torsión	N/A	N/A	707.01 Nm/°
Barra antivuelco ascendente	N/A	1.450 mm	N/A
Barra antivuelco descendente	N/A	3.682 mm	N/A
Barra antivuelco hacia atrás	N/A	1.790 mm	N/A
Barra antivuelco hacia delante	N/A	2.031 mm	N/A
Barra antivuelco izquierda	N/A	4.014 mm	N/A
ENSAYO CANCELADO			

Tabla 7: Resultados tercer modelo

Los resultados obtenidos en los ensayos de la barra antivuelco son muy desfavorables, similar ocurre con los anteriores aunque no es tal magnitud.

## D. Cuarto modelo

Se unifican tramos de tubo (suelo, laterales y arco principal) para eliminar soldaduras y puntos generadores de tensiones. Se añade un valor constante de soldadura y se centra y baja el soporte del motor.

Ensayo	Tensión máx.	Deformación máx.	Constante de rigidez
Frenada	38.0 MPa	0.714 mm	N/A
Aceleración	38.0 MPa	0.714 mm	N/A
Aceleración lateral	66.6 MPa	2.011 mm	N/A
Torsión	N/A	N/A	739.85 Nm/°
Barra antivuelco ascendente	N/A	0.939 mm	N/A
Barra antivuelco descendente	N/A	2.004 mm	N/A
Barra antivuelco hacia atrás	N/A	0.822 mm	N/A
Barra antivuelco hacia delante	N/A	1.915 mm	N/A
Barra antivuelco izquierda	N/A	2.360 mm	N/A
Barra antivuelco derecha	N/A	2.108 mm	N/A

Tabla 8: Resultados cuarto modelo

Los resultados de los ensayos generales son aceptables, sin embargo aún no se pueden considerar aptos los valores en los ensayos de la barra antivuelco. El ensayo queda no válido.

## E. Quinto modelo

Se aumenta el espesor de los tubos de 2mm de pared a 2.5mm de pared, el máximo tamaño para tubería de aluminio de 1" según los catálogos de proveedores nacionales.

Los resultados obtenidos se recopilan en el siguiente apartado de este capítulo. El único punto negativo de este último cambio es el aumento de peso de 9.07 Kg a 11.13 Kg.

## 6.6.8 Resumen de los resultados

En primer lugar hay que remarcar que la estructura resultante pesa **11.13 Kg**, un peso inferior al del diseño de partida.

En la siguiente tabla quedan registrados todos los resultados de los ensayos sometidos a la estructura.

Ensayo	Tensión máx.	Deformación máx.	Constante de rigidez
Frenada	23.2 MPa	0.413 mm	N/A
Aceleración	23.2 MPa	0.413 mm	N/A
Aceleración lateral	54.9 MPa	1.34 mm	N/A
Torsión	N/A	N/A	774.77 Nm/°
Barra antivuelco ascendente	N/A	0.230 mm	N/A
Barra antivuelco descendente	N/A	1.058 mm	N/A
Barra antivuelco hacia atrás	N/A	0.172 mm	N/A
Barra antivuelco hacia delante	N/A	1.031 mm	N/A
Barra antivuelco izquierda	N/A	1.586 mm	N/A
Barra antivuelco derecha	N/A	1.411 mm	N/A

Tabla 9: Resultados finales obtenidos

Si se comparan estos resultados con los del modelo base, se puede apreciar que los resultados han salido por lo general de forma favorable, luego el nuevo diseño mejora al anterior.

En los ensayos asociados a movimientos realizados durante la conducción el nuevo diseño obtiene mejores resultados, sin embargo al bajar el espesor de la barra antivuelco los resultados obtenidos en los ensayos obligatorios los resultados son algo peores.

No obstante, y como se verá en el capítulo de presupuesto (capítulo 8) y en las conclusiones finales (capítulo 9), este modelo se puede considerar como una evolución.

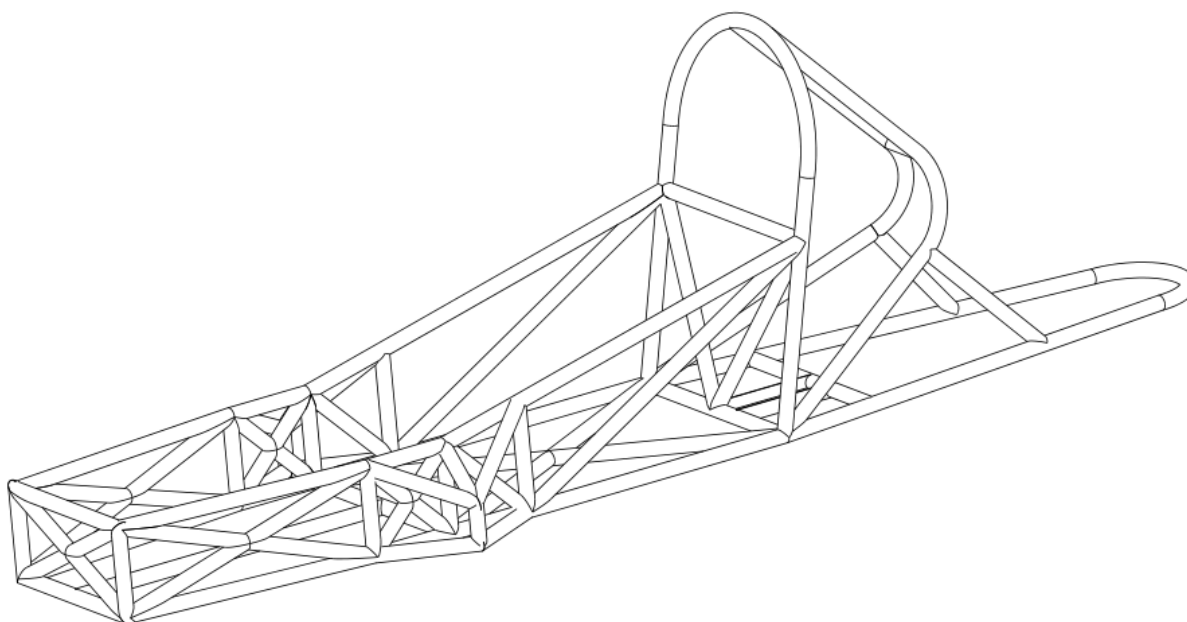


Ilustración 71: Plano general del modelo definitivo



## CAPÍTULO 7: FABRICACIÓN



## 7 CAPÍTULO 7: FABRICACIÓN

### 7.1 Introducción

En este capítulo se describen los procesos de fabricación a seguir para las dos partes de diseñadas en capítulos anteriores, el carenado y el chasis.

Se han seguido los criterios de fabricación más usados en industria con el fin de obtener una buena calidad y un coste adecuado. [m] [n]

### 7.2 Fabricación del carenado

Para la fabricación del carenado en fibra de vidrio se seguirá una fabricación por moldeo.

Este molde se fabricará en madera a partir del desarrollo en 3D del perfil de alzado y planta que han sido calculados en apartados anteriores.

Dicho molde estará compuesto por 30 costillas de conglomerado, una por cada 10 cm de desarrollo y cubiertas con una lámina pulida que generarán una superficie suave para el molde.

El molde de madera será una imagen del interior de lo que será la parte superior de la carrocería, de tal manera que se fabricará según cotas interiores. De tal forma, cada costilla de madera será maciza y por separado tendrán formas similares a semicírculos.



Ilustración 72: Ejemplo de moldes de madera

Este proceso de fabricación se asemeja al de los cascos de algunas embarcaciones ligeras y es uno de los más utilizados por otros participantes de la competición como se aprecia en la ilustración 43.

Aunque hay empresas de embalajes especializadas en trabajos con fibra de vidrio y madera que utilizan técnicas más complejas, como por ejemplo el uso de tornos CNC de cinco ejes, el proceso más tradicional y sencillo se comprende de los siguientes pasos:



- A. Tras la fabricación y unión de las costillas de madera con la forma deseada, se debe aplicar sobre toda la superficie cera desmoldeante, para que la futura pieza de fibra se desprenda bien de su molde.
- B. Eliminar toda la cera desmoldeante hasta que no queden restos visuales.
- C. Repetir los pasos A. y B. dos veces más (un total de tres veces).
- D. Aplicar una capa de gel-coat, este compuesto necesita ser mezclado con un catalizador al 2% en volumen. Este gel es una resina de poliéster saturado.
- E. Una vez seco el gel, se puede empezar a aplicar capas de fibra de vidrio, las cuales se fijarán a la superficie d gel con resina epóxica. Esta resina también necesita del uso de un catalizador, la mezcla será del 1% en volumen. Las láminas de fibra usadas serán de 450 g para una mayor resistencia.
- F. Se deben aplicar tantas capas como espesor final de la pieza se desee, en este caso se llegará hasta los 5mm de espesor para que una vez terminado se pueda lijar la superficie para dejarla aún más lisa.
- G. Es importante eliminar todas las burbujas de aire para que no se creen impurezas que puedan generar fisuras con el tiempo.
- H. Por último, se extraerá la pieza del molde y se lijará hasta obtener un acabado suave.

Estas piezas de fibra se pueden recortar fácilmente, así se eliminarán las creces del molde, se dividirán en varias partes como se explicaba en el capítulo de diseño y se fabricarán las ventanas. Por último, se colocarán con remaches los perfiles de aluminio para los bordes.

La fabricación de la base es más sencillo, pues se partirá de una plancha compuesta de fibra de vidrio y espuma de EPDM a la cual se le mecanizarán los extremos para que encaje con la parte superior. La ventaja de esta plancha compuesta es el coste del material y la resistencia al impacto, pues el relleno de "foam" del interior amortigua los impactos. Esto es una ventaja frente al impacto de pequeñas piedras que pueda haber en el circuito.



Ilustración 73: Proceso de fabricación con moldes de madera

### 7.3 Fabricación del chasis

Como ya se ha desarrollado en capítulos anteriores, el chasis del futuro prototipo será una estructura soldada de tubos de aluminio.

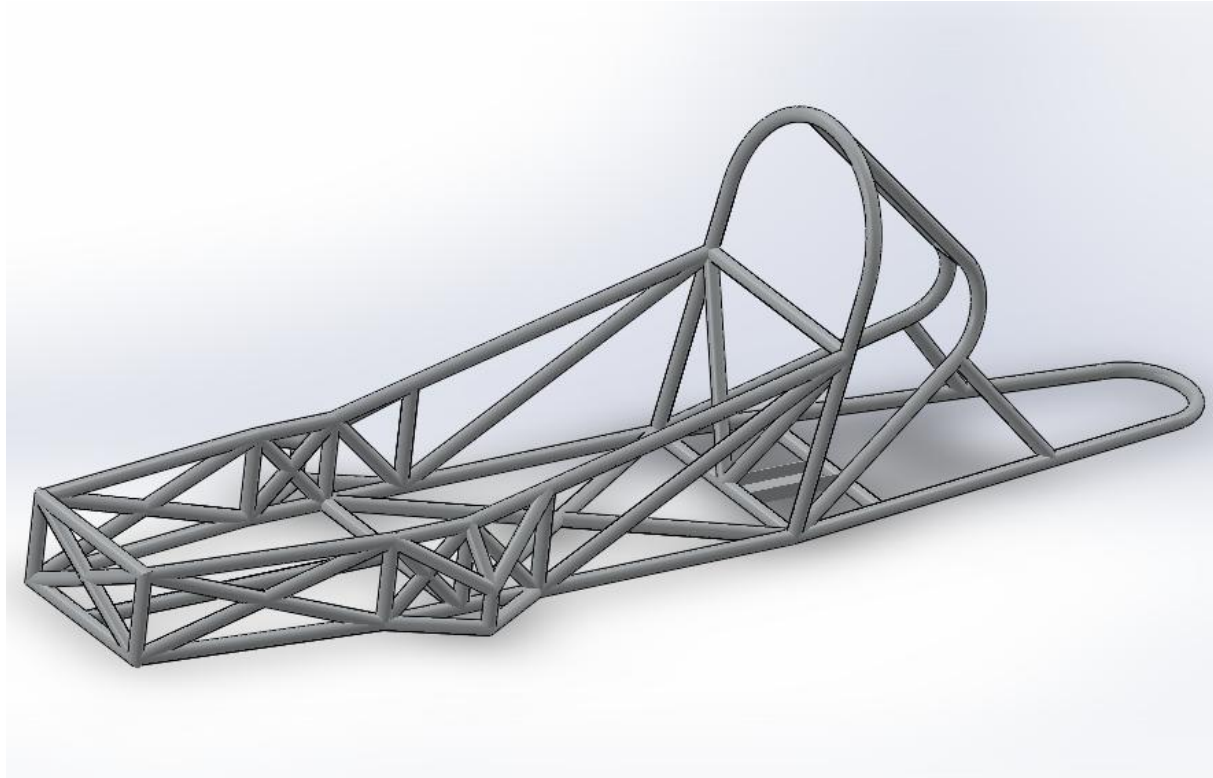


Ilustración 74: Chasis de aluminio para fabricación

Como se refleja en este documento, el material utilizado para dicho chasis será una aleación de aluminio y magnesio, la cual sigue la norma EN-AW 6063 T5.

Para la reducción de costes se ha aplicado la misma sección de tubo redondo en toda la estructura, siendo esta de dimensiones 25x20 mm (diámetro exterior por diámetro interior). Como ya se indicó, el aluminio es un material más complejo de soldar que el acero, las piezas requieren un precalentamiento y no se puede soldar con arco, es necesario usar técnicas de TIG o MIG. Para facilitar el proceso de soldadura, es conveniente que las dos piezas a unir tengan el mismo espesor y sean de la misma aleación, así el tiempo de precalentado es equivalente para ambas.

Para la fabricación, en primer lugar habrá que conseguir los desarrollos de tubo de cada pieza. Muchos de los elementos que forman el chasis son tubos con finales abocados y cortes en ángulos desiguales, para evitar encarecer la fabricación y prolongar el plazo de entrega es aconsejable recurrir a una empresa de mecanizados o de corte por láser.

La principal diferencia entre ambos métodos de preparación de los tubos es la calidad y el precio. El proceso de mecanizado mediante una fresadora de control numérico permite obtener calidades hasta la centésima, inclusive la micra si se dispone del equipo adecuado. Sin embargo, el corte por láser es un sistema de preparación de piezas mucho más rápido y económico, pero las calidades para elementos de gran tamaño están en torno al milímetro.

Los cortes de los tubos que serían necesarios para dar forma al chasis del presente proyecto presentan formas similares a las de la siguiente imagen.



Ilustración 75: Tubos cortados por láser

Ésta imagen se ha obtenido de una máquina de corte por láser. Como ya se ha mencionado, las tolerancias de acabado de los tubos de corte por láser pueden ser en el mejor de los casos de décimas de milímetro, pero en general suelen ser de la magnitud del milímetro o el par de milímetros.

La ventaja que ofrece la máquina de corte por láser, en detrimento de la calidad del acabado es la velocidad de proceso y el coste. La preparación de una serie de piezas por láser se puede acotar en un margen de 7 a 10 días, pudiéndose reducir si las piezas tienen una alta repetitividad. Por el contrario, la mayor parte de las piezas requerirá de un lijado y repaso antes de iniciar los trabajos de soldadura.

Otro punto en contra de la máquina del corte por láser es que se recomienda un montaje previo de los componentes para determinar las desviaciones dimensionales. Esto se traduce en más tiempo de mano de obra por parte del oficial soldador, que deberá superponer todo el conjunto mediante mordazas para una revisión de los cortes.

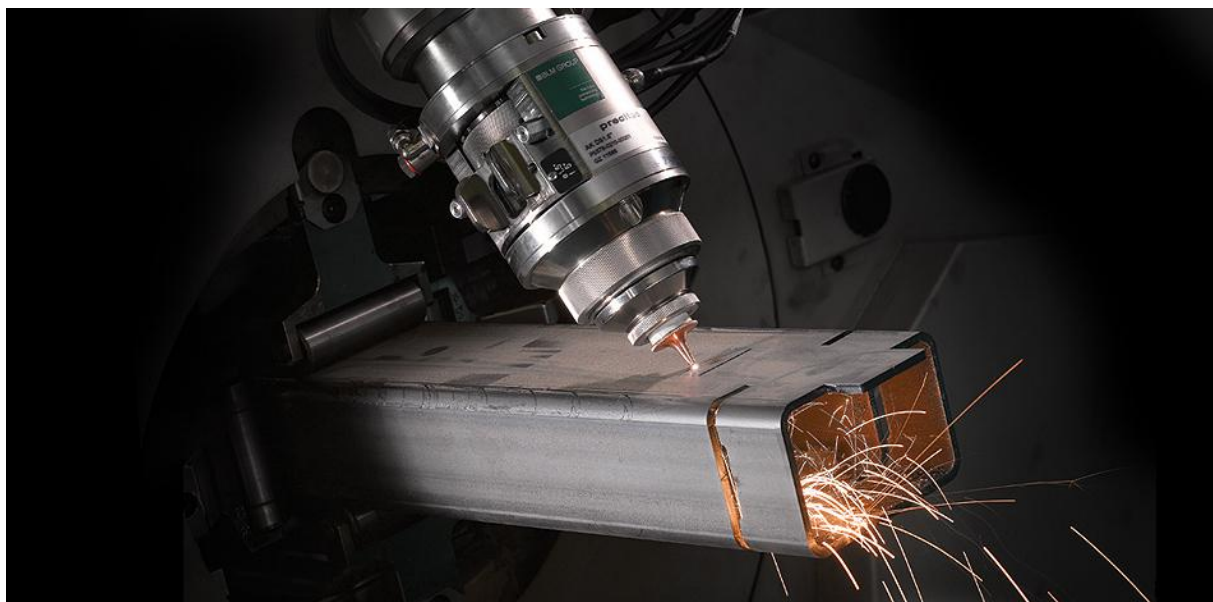


Ilustración 76: Máquina de corte por láser para perfiles extruidos

El otro medio de fabricación es el mecanizado directo de los tubos en un centro de fresado de control numérico (fresadora CNC). Esta máquina de mayor coste obtiene como se ha indicado unas calidades mucho mayores, eliminando casi por completo la inspección previa por parte del soldador. Por el contrario, este método lleva

un sobrecoste y unos tiempos de producción mayores. Si bien se puede determinar que la preparación de una pieza y su mecanizado pueden llevar fácilmente dos horas de trabajo. De esta forma se puede calcular que cada corte requiere al menos dos horas, solo la repetitividad de las piezas reduce los tiempos de producción.



Ilustración 77: Fresadora CNC de tres ejes

Como solución a este problema, se ha decidido elegir la fabricación mediante corte por láser, puesto que la fabricación se va a solicitar a una empresa especializada en la fabricación de equipos de alta precisión. En el capítulo de presupuesto se detallarán con más detalle los costes derivados de la fabricación.

Un paso importante en el proceso de fabricación antes del mecanizado de los perfiles es la compra del material. Los tubos de aluminio 6063 T5 son muy comunes en industria, por lo que tienen un coste bajo y un plazo de entrega prácticamente inmediato. Dichos tubos se venden en tramos de 6050mm, los cuales se pueden traducir en 6000mm aprovechables quitando las imperfecciones que suelen tener los extremos de las barras extruidas y las pérdidas de material en los cortes.

Para determinar la cantidad de material que se necesita para la construcción del chasis hará falta medir todos los desarrollos obtenidos en los planos.

En total, el nuevo diseño se compone de 49 piezas de tubo redondo de 25mm de diámetro exterior y 2.5mm de pared (25x20), dos pletinas de 2mm y una de 5mm de pared, las cuales no tendremos en cuenta por su reducido tamaño.

De las 49 piezas de tubo, hay 36 formas diferentes teniendo en cuenta las que sea simétricas.



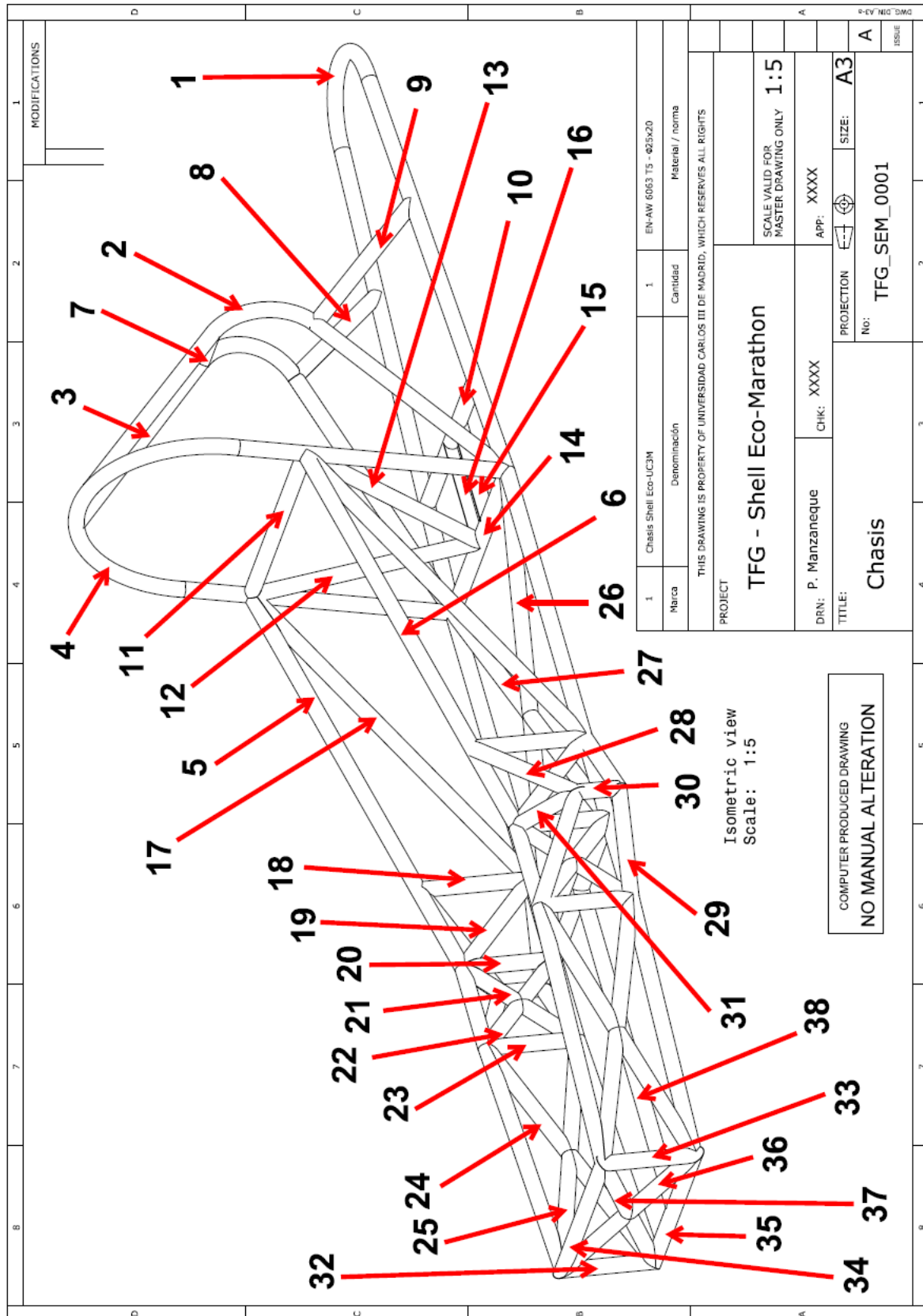


Ilustración 78: Plano numerado del chasis

Nº	Designación	Longitud (mm)	Cantidad	Nº plano
1	Suelo	4473,50	1	TFG_SEM_0003
2	Trasera derecha	1151,02	1	TFG_SEM_0003
3	Trasera izquierda	1151,02	1	TFG_SEM_0003
4	Barra seguridad	1500,00	1	TFG_SEM_0003
5	Lateral derecho	1316,96	1	TFG_SEM_0004
6	Lateral izquierdo	1316,96	1	TFG_SEM_0004
7	Tubo 7	79,98	1	TFG_SEM_0004
8	Tubo 8	236,68	1	TFG_SEM_0004
9	Tubo 9	236,68	1	TFG_SEM_0004
10	Tubo 10	353,50	1	TFG_SEM_0004
11	Tubo 11	400,00	1	TFG_SEM_0004
12	Tubo 12	322,04	1	TFG_SEM_0005
13	Tubo 13	322,04	1	TFG_SEM_0005
14	Tubo 14	400,00	1	TFG_SEM_0005
	Pletina			TFG_SEM_0005
	Placa base motor			TFG_SEM_0005
17	Tubo 17	566,96	2	TFG_SEM_0005
18	Tubo 18	153,33	2	TFG_SEM_0006
19	Tubo 19	159,39	2	TFG_SEM_0006
20	Tubo 20	150,00	2	TFG_SEM_0006
21	Tubo 21	151,78	2	TFG_SEM_0006
22	Tubo 22	151,78	2	TFG_SEM_0006
23	Tubo 23	150,00	2	TFG_SEM_0006
24	Tubo 24	380,13	2	TFG_SEM_0006
25	Tubo 25	380,13	2	TFG_SEM_0006
26	Tubo 26	714,66	1	TFG_SEM_0006
27	Tubo 27	714,66	1	TFG_SEM_0006
28	Triángulo superior	374,81	2	TFG_SEM_0007
29	Triángulo inferior	356,14	2	TFG_SEM_0007
30	Sujeción dirección	70,00	2	TFG_SEM_0007
31	Refuerzo	108,55	2	TFG_SEM_0007
32	Poste vertical frontal	161,12	1	TFG_SEM_0008
33	Poste vertical frontal sim.	161,12	1	TFG_SEM_0008
34	Poste horizontal frontal	325,00	1	TFG_SEM_0008
35	Poste horizontal frontal sim.	325,00	1	TFG_SEM_0008
36	Cruz frontal 36	300,00	1	TFG_SEM_0008
37	Cruz frontal 37	300,00	1	TFG_SEM_0008
38	Larguero central	575,00	1	TFG_SEM_0008

Tabla 10: Tramos de tubo del diseño

Las dos filas en rojo corresponden al conjunto que forma el soporte del motor.



Como se muestra en la siguiente tabla, será necesario un total de **23142.94 mm de perfiles de 25x20**, es decir un total de 4 tubos. Mayorando el resultado por las pérdidas de material y posibles errores, se calcula que habrá que comprar **5 tramos** de tubo 25x20 de 6050mm de longitud cada uno en stock.

Para soldar los tubos de aluminio, tal y como se ha indicado será necesario el uso de un equipo de soldadura TIG. Este tipo de soldadura consiste en el empleo de un electrodo permanente de tungsteno, aleado a veces con torio o circonio. Dada la elevada resistencia a la temperatura del tungsteno, la cual está en torno a los 3410°C, y la protección de gas, la punta del electrodo apenas se desgasta durante un uso prolongado. Los gases de protección más usados en este tipo de soldaduras son el helio y el argón.

Los cordones de soldadura del método TIG (en inglés, tungsten inert gas), los cordones son más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión. Otra ventaja es que bajo atmósfera inerte son mucho más limpias y uniformes.

Para soldar se seguirá la norma europea **DIN EN ISO 4063**. [g] [h]

## WELDING TABLE


WELDING ACCORDING TO			DIN EN ISO 4063
PROCESS	131/141 (MIG/WIG)		QUALITY REQUIREMENT FOR WELDING ACCORDING TO DIN EN ISO 3834-3
BASE METAL	EN-AW-6061		GUIDANCE ON QUALITY LEVELS ACCORDING TO DIN EN ISO 10042
FILLER METAL	DIN EN ISO 18273		
PROTECTIVE GAS	DIN EN ISO 14175		TEST VISUAL INSPECTION
PREPARATION OF WELD	DIN EN ISO 9692		
STRESS RELIEF ANNEALED	YES	NO	WELDING SUPERVISOR
REMARK			
<div><div><math display="block">a = 0,7 \times S_{min}</math></div><div></div></div>			

Ilustración 79: Cajetín de la norma de soldadura a seguir

Como indica la norma, el cordón de soldadura deberá ser de al menos 0.7 veces el mínimo espesor de los dos elementos a unir. En este caso las dos partes a unir siempre van a tener un espesor de pared de 2.5mm, por lo que todos los cordones de soldadura deberán ser de 1.75mm de altura.

Es muy importante tener en cuenta que para soldar aluminio hace falta precalentar el material, sino las soldaduras no agarran. Soldar aluminio no es tan fácil como el acero y requiere de personal cualificado y con experiencia.

Para soldar aluminio se deben usar grupos de soldaduras de MIG o TIG de corriente alterna, pues el electrodo necesita pasar por cero para liberarse fugazmente y así no dañarse. Los grupos de soldadura de corriente alterna no son económicos, este punto se deberá incluir en el presupuesto del siguiente capítulo.

En piezas de aluminio con mucho espesor o de gran tamaño es necesario el uso de varias personas para soldar, puesto que el aluminio disipa muy rápido la temperatura será necesario que mientras se suelda se vaya calentado el material.

Por último a tener en cuenta respecto al trabajo de soldadura es que se necesita estar en presencia de un gas inerte que evite la aparición de impurezas en el cordón. Por ello se utilizan equipos de TIG o MIG con argón o helio. Es importante que en tuberías se haga circular argón por el interior de la tubería para evitar penetraciones disconformes del material que con el tiempo supongan un punto débil en la estructura.

Otro punto importante de la elaboración del chasis es el doblado de tubos. Como ya se indicaba en capítulos anteriores, el doblado de tubos es un proceso más económico que las soldaduras, además que cuanto más tramos de un solo tubo doblados existan, menor serán los cortes por láser. El otro punto importante del plegado de tubos es el aumento de la resistencia, eso ha quedado demostrado en el capítulo 6 de análisis, ya que se ha reducido el espesor medio de los perfiles del conjunto soldado y se han aumentado en general la resistencia estructural.

Para el doblado de tubos se usará una dobladora manual, puesto que los tubos son de 1" y su espesor es pequeño. Para este tamaño de tubos de aluminio no es necesario el uso de dobladoras automatizadas.



Ilustración 80: Dobladora de tubos manual

Por último, un punto importante en la fabricación de una estructura metálica es el acabado superficial de los materiales para la protección de la corrosión.

El aluminio es un material con una mayor resistencia a la corrosión, aguanta más que el acero al carbono pero sometido a atmósferas muy húmedas, como es el circuito Ahoy de Holanda, se oxida con rapidez. El mejor tratamiento de este tipo de aleaciones de aluminio frente al óxido es el anodizado.



Ilustración 81: Tubos de aluminio anodizado en colores

El anodizado es un proceso electrolítico a baja tensión que consiste en la oxidación de la capa exterior del aluminio para genera una capa de protección. Por el contrario, el proceso de anodizado tiene un coste elevado. Por lo general, el anodizado estándar es de color blanco, aunque hay variantes en múltiples colores.

Una protección más económica es la pintura de poliuretano, esta pintura bicomponente a base de resinas epoxi ofrece una gran resistencia frente a impactos, humedad y previene las superficies metálicas de la oxidación. Para una mayor protección del chasis se puede aplicar una imprimación anti óxido en base epoxi. La pintura de poliuretano es la más usada en la protección de estructuras metálicas para bancos de pruebas y mulas hidráulicas.

#### 7.4 Unión de chasis y carenado

En este apartado se presenta una solución para la unión de los dos elementos de los que se compone el desarrollo de este proyecto, el chasis y el carenado.

Como ya se adelantaba en el capítulo destinado al diseño de la carrocería, la unión entre las distintas partes de fibra se harán mediante perfiles especiales de aluminio destinados al ensamblaje de paneles. Estos elementos estarán unidos mediante remaches dado que no se desea que sean extraíbles.

Para asegurar los efectos de succión que sufre la cúpula del cockpit se plantea utilizar una unión de tipo velcro. El velcro es un sistema de fijación rápido y sencillo que consiste en dos bandas de tela, una de ella compuesta por pequeñas púas que acaban en forma de gancho y otra formada por fibras enmarañadas que permiten el agarre.

Además del velcro comercial conocido para textil, existen gran variedad de derivados para industria de mayor resistencia. Un ejemplo claro son las cintas adhesivas de la marca 3M. [7]

La solución para el problema de la succión y la sobrepresión durante la marcha será colocar unas tiras de velcro entre los perfiles de aluminio. Con este método se consigue sostener la carrocería y a su vez permitir una salida rápida del piloto en caso de emergencia.



Ilustración 82: Bardana, planta en la que está inspirada el velcro

Sin embargo, la unión de las partes de la carrocería que son fijas necesitan de un anclaje fijo. Estas partes deben sostenerse rígidamente para poder sostener las partes móviles anteriormente descritas.

La solución planteada es la fabricación de unos tacos en un polímero, por ejemplo el nylon PA6-6. Estas pequeñas pletinas se pueden unir mediante un adhesivo de contacto al interior de la superficie de fibra de vidrio. El adhesivo de contacto asegura una buena resistencia frente a esfuerzos cortantes, por lo que es el más adecuado para esta aplicación.

El nylon PA6-6 es un polímero muy mecanizable, sobre este material se pueden realizar cualquier tipo de geometrías, es tan mecanizable como cualquier aleación de acero.

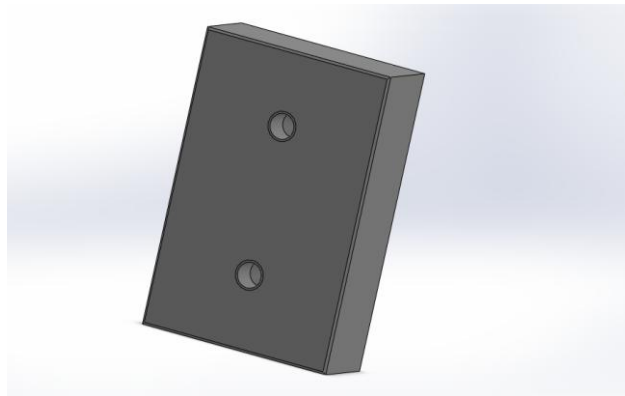


Ilustración 83: Pletina de nylon

Estas pletinas de fabricación económica servirán para el posicionamiento de unas abrazaderas de tubo cerradas como las de la siguiente imagen.



Ilustración 84: Abrazadera de presión de Parker

Tanto la pletina inferior como la superior son extraíbles, de tal forma que el elemento de plástico verde, el que abraza al tubo se puede fijar a los tubos del chasis mediante dos tornillos.

Este complemento de plástico es más económico que el planteamiento inicial fabricado mediante impresoras 3D.

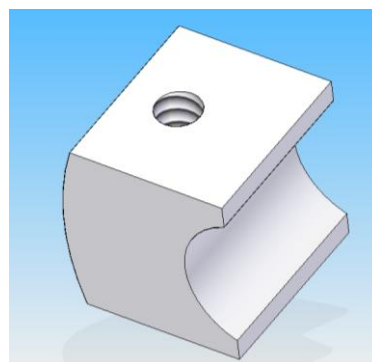


Ilustración 85: Primera idea elemento fijación

Estos elementos descritos formarían el sistema de unión entre chasis y carrocería, sin contar con la tornillería.





## CAPÍTULO 8: PRESUPUESTO





## 8 CAPÍTULO 8: PRESUPUESTO

### 8.1 Introducción

En este capítulo se presenta el presupuesto de las dos partes de desarrollo del proyecto, el chasis y el carenado.

Dado que el proyecto del chasis es una evolución de la anterior versión, en este capítulo se incluirá un apartado dedicado a calcular el coste real del presupuesto del trabajo realizado el año anterior.

Por último se hará un sumatorio de todo el coste del trabajo desarrollado en este documento incluyendo las horas de ingeniería.

### 8.2 Presupuesto carrocería

El presupuesto de la carrocería según el proceso descrito en el capítulo de fabricación y bajo los criterios de diseño el capítulo 6 ha sido realizado por una empresa especializada en el trabajo de estructuras y contenedores en aluminio, madera, y materiales compuestos como la fibra de vidrio.

A continuación se detalla el presupuesto proporcionado por la empresa EMBALAJES VILLA S.L. de Madrid y el resto de partidas de trabajo necesarias.

#	Concepto	Cantidad	Medida	Coste unitario	Subtotal
1	Fabricación molde más piezas de fibra en Embalajes Villa S.L.	1	unidad	3800,00 €	3800,00€
2	Gestión proyecto	1	Hora de ingeniero	20,00 €	20,00 €
3	Inspección primer artículo (FAI)	1	hora de ingeniero	20,00 €	20,00 €
4	Pletinas de nylon PA6-6	25	unidad	8,50 €	187,50 €
5	Abrazaderas de presión Parker	5	Cajas de 5 unidades	2,12 €	10,60 €
6	Adhesivo de contacto Loctite	1	Unidad	3,90€	3,90€
7	Portes por proveedor hasta UC3M	3	-	15,00 €	45,00 €
8	Lámina de policarbonato	1	unidad	73,24 €	73,24 €

Tabla 11: Presupuesto carrocería

**COSTE TOTAL: 4.160,24 €**

No se tienen en cuenta las horas de ingeniero destinadas al desarrollo puesto que forman parte del trabajo de fin de grado. Tampoco se han tenido en cuenta las horas de montaje de los elementos una vez recibidos los materiales, pues se fijan como actividades de los alumnos y miembros del equipos de Shell Eco-Marathon.

El plazo de entrega del anterior presupuesto es de 6 semanas. Los precios indicados no incluyen el 21% de IVA.

## 8.3 Presupuesto chasis modelo base

Para volver a presupuestar el chasis del modelo usado de base , utilizaremos algunos datos disponibles de la empresa de fabricaciones de bancos de ensayo y utillajes para el sector aeronáutico FLAVIA Aeronáutica y Sistemas, S.L, de Madrid. Queda constancia que la empresa mencionada no ha autorizado el presente presupuesto, tan solo ha actuado como consultora en la estimación de costes.

Para empezar, el material necesario es el siguiente:

- Tubo de 25x21: 14.015 m
- Tubo de 25x19: 3.099 m
- Tubo de 25x15: 6.400 m

Destacar que los tubos de aluminio solo se suministran en barras de 6000mm de longitud ( 6 metros) según uno de los principales proveedores de aluminio del país como es ALUSTOCK S.L.

#	Concepto	Cantidad	Medida	Coste unitario	Subtotal
1	Tubo aluminio 25x21	3	Barras 6 metros	3,22 €	57,96 €
2	Tubo aluminio 25x19	1	Barras 6 metros	6,78 €	40,68 €
3	Tubo aluminio 25x15	2	Barras 6 metros	10,42 €	125,04 €
4	Cortes láser	61	unidad	9,50 €	579,50 €
5	Preparación superficie por mecánico sr.	30	horas	20,00 €	600,00 €
6	Doblado de tubos por mecánico sr.	3	horas	20,00 €	60,00 €
7	Trabajos de soldadura persona certificada	60	horas	50,00 €	3.000,00 €
8	Pintado estructuras con pintura epoxi	6	horas	18,00 €	108,00 €
9	4 Kg pintura epoxi + 4 Kg imprimación	1	unidad	84,00 €	84,00 €
10	Inspección primer artículo (FAI)	8	horas	20,00 €	160,00 €
11	Gestión proyecto	3	horas	20,00 €	60,00 €
12	Portes varios hasta UC3M	2	-	15,00 €	30,00 €
13	Equipo de soldadura TIG en AC	1	unidad	2000,00 €	2000,00

Tabla 12: Presupuesto modelo chasis base

**COSTE TOTAL: 6.905,18 €**

Al igual que en el apartado anterior, no se han tenido en cuenta las horas de ingeniería de diseño puesto que esas horas están aplicadas en la redacción del trabajo fin de grado el cual es parte del programa educativo de la titulación.

## 8.4 Presupuesto chasis actual

Este presupuesto se ha realizado según los mismos criterios que el apartado anterior, es decir que se han obtenidos datos de la empresa del sector aeronáutico FLAVIA Aeronáutica y Sistemas S.L. Queda constancia que la empresa mencionada no ha autorizado el presente presupuesto, tan solo ha actuado como consultora en la estimación de costes.

#	Concepto	Cantidad	Medida	Coste unitario	Subtotal
1	Tubo aluminio 25x20	5	Barras 6 metros	2,89 €	86,70 €
2	Cortes láser	54	unidad	7,50 €	513,00 €
3	Preparación superficie por mecánico sr.	24	horas	20,00 €	480,00 €
4	Doblado de tubos por mecánico sr.	5	horas	20,00 €	100,00 €
5	Trabajos de soldadura persona certificada	45	horas	50,00 €	2.250,00 €
6	Pintado estructuras con pintura epoxi	4	horas	18,00 €	72,00 €
7	4 Kg pintura epoxi + 4 Kg imprimación	1	unidad	84,00 €	84,00 €
8	Inspección primer artículo (FAI)	8	horas	20,00 €	160,00 €
9	Gestión proyecto	3	horas	20,00 €	60,00 €
10	Portes varios hasta UC3M	2	-	15,00 €	30,00 €
11	Equipo soldadura TIG de AC	1	unidad	2000,00 €	2000,00

Tabla 13: Presupuesto chasis desarrollado

**COSTE TOTAL: 5.835,70 €**

Siguiendo el mismo criterio que en los dos apartados anteriores, el coste del desarrollo no se ha incluido al formar parte de este TFG.

Si se compara este resultado con el de chasis anterior, observamos una diferencia de **1.069,48 €** en los que el nuevo diseño es más económico.

## 8.5 Presupuesto total

Por último, y por tener un concepto del coste total del proyecto incluyendo las horas de ingeniería que hay detrás de este documento, se va a proceder a elaborar dos presupuestos. El primero será la suma de la fabricación del chasis y el carenado tal y como ya se ha calculado, y en un segundo presupuesto se incluirán los costes ya mencionados más el del desarrollo de la ingeniería.

### 8.5.1 Presupuesto total materiales

• Fabricación carrocería según diseño del presente documento:	4160,24 €
• Fabricación chasis según diseño del presente documento:	5835,70 €
	<hr/>
	<b>9.995,94 €</b>

El presupuesto total del proyecto alcanza un valor de nueve mil novecientos noventa y cinco euros con noventa y cuatro céntimos.

Si le añadimos el 21% del IVA<sup>†</sup>, el coste de la fabricación del chasis + carenado es de **12.095,08€**.

### 8.5.2 Presupuesto total con ingeniería y materiales

El trabajo fin de grado equivale de media a 360 horas de trabajo, y el coste medio del ingeniero junior por hora es de 20,00 €/h, con lo cual las horas de ingeniería del TFG equivalen a un coste de 7200€

• Fabricación carrocería según diseño del presente documento:	4160,24 €
• Fabricación chasis según diseño del presente documento:	5835,70 €
• Horas de ingeniero jr. para desarrollo del presente TFG:	7200,00 €
	<hr/>
	<b>17.195,94 €</b>

El presupuesto total del proyecto alcanza un valor de diecisiete mil ciento noventa y cinco euros con noventa y cuatro céntimos.

Si le añadimos el 21% del IVA, el coste de la fabricación del chasis + carenado es de **20.807,08 €**.

---

<sup>†</sup> Los presupuestos se manejan con precios sin IVA. El factor de añadir el IVA al coste es para tener una representación rápida del pago inicial que se debería realizar para la fabricación del prototipo, por esto solo se ha añadido en la suma final.

## **8.6 Presupuesto fabricación chasis proyecto llave en mano**

Por último, dado que los presupuestos anteriores recogen solo el coste de materiales y una estimación de horas de trabajo según personal cualificado, para la obtención de un presupuesto completamente cerrado de la fabricación de un chasis bajo planos en un plazo de entrega estipulado, lo que se conoce como proyectos "build to print".

Para el desarrollo de este presupuesto se le han entregado los planos de diseño a una empresa con experiencia en la fabricación de equipos de soporte en tierra de carácter mecánico para el sector aeronáutico.

La empresa, ya mencionada en los apartados anteriores, FLAVIA Aeronáutica y Sistemas oferta la fabricación del chasis bajo la siguiente oferta.

La oferta de fabricación del chasis según planos asciende a..... **12.382€**

Con plazo de entrega de..... **9 semanas**

El presupuesto anterior no incluye el 21% de IVA. El lugar de entrega es EXW, en Leganés, Madrid.







## CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES



## 9 CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES

Una vez llegados a este punto del presente documento, se puede concluir que los objetivos marcados al inicio del mismo se han conseguido desarrollar y cumplir.

Se ha definido un modelo de carrozado que cumple una serie de requisitos aerodinámicos tal y como se planteaban y del cual se ha obtenido un presupuesto cerrado de fabricación en materiales ligeros y resistentes.

En cuanto al diseño del chasis, el planteamiento inicial era realizar una serie de mejoras en el diseño actual para conseguir mejores resultados y, más importante, obtener un presupuesto cerrado de la fabricación del mismo. Como se puede ver comparando el coste del antiguo modelo y del que se plantea en este documento, el ahorro es significativo.

Otro punto a analizar es la conexión entre chasis y carenado, de la cual se ha planteado una solución práctica y económica que puede tener resultados muy positivos.

En cuanto a los diferentes presupuestos, queda claro que el factor más importante a la hora de determinar el presupuesto del proyecto son las horas de personal cualificado.

**La conclusión general** es que los dos principales objetivos del proyecto se han cumplido, y por lo tanto gracias al presente trabajo se puede disponer de unas pautas de diseño para la primera materialización de un prototipo completo de la Shell Eco-Marathon por parte de la Universidad Carlos III de Madrid.





## CAPÍTULO 10: TRABAJOS FUTUROS





## 10 CAPÍTULO 10: TRABAJOS FUTUROS

En este capítulo se especifican varios puntos de partida para la continuación de los trabajos desarrollados en el presente documento.

1. Repetición de ensayos más exhaustivos utilizando un mallado más fino, más condiciones de contorno y a ser posible un software más complejo.
2. Realización de un ensayo de fatiga de los elementos estructurales, tanto chasis como carrozado producido por las vibraciones del motor y la circulación en pista.
3. Optimizar el diseño para reducir las deformaciones de la barra antivuelco intentando no aumentar el peso del conjunto.
4. Realizar un modelo tridimensional de mejor calidad del carenado.
5. Realizar ensayos de flujo, coeficiente de presión y resistencia al avance en un modelo en tres dimensiones del carenado y optimizar su geometría cambiando la sección de los perfiles NACA.
6. Completar el trabajo de estudio de otros componentes del equipo, como por ejemplo electrónica, dirección, frenos, el cockpit, elementos de seguridad del vehículo.
7. Plantear un diseño de chasis monocasco en fibra de carbono y buscar un presupuesto cerrado de fabricación.
8. Contactar con empresas de calderería y mecanizados para la obtención de más presupuestos con el fin de localizar la mejor oferta.
9. Realizar un estudio de la fabricación del chasis y carenado por medios propios aprovechando las instalaciones de la universidad y realizando pequeñas inversiones en herramientas y materiales.
10. Estudiar la fabricación de un chasis y carrozado en materiales más económicos.





## CAPÍTULO 11: BIBLIOGRAFÍA



## 11 CAPÍTULO 11: BIBLIOGRAFÍA

### 11.1 Referencias

- [1] About Shell, <http://www.shell.com/global/aboutshell.html> (Visitado por última vez: 22/09/2015)
- [2] La crisis del petróleo de 1973, <http://empleospetroleros.org/2012/11/15/historia-la-crisis-del-petroleo-de-1973/> (Visitado por última vez: 22/09/2015)
- [3] Europe 2015, Prototype gasoline results, <http://s07.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/2015-results/sem-europe-2015-results-prototype-gasoline-020615.pdf> (Visitado por última vez: 22/09/2015)
- [4] Europe 2015, Urban Concept gasoline results, <http://s04.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/corporate/ecomarathon/downloads/pdf/europe/2015-results/sem-europe-2015-results-urbanconcept-gasoline-020615.pdf> (Visitado por última vez: 22/09/2015)
- [5] Perfiles ITEM, <http://www.item24.es/> (Visitado por última vez: 22/09/2015)
- [6] ALUSTOCK, <http://www.alu-stock.es/es/> (Visitado por última vez: 22/09/2015)
- [7] 3M, aplicaciones para cintas adhesivas, [http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/Adhesives/Tapes/Applications/?rt=c3&N=5833185+5153260](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Adhesives/Tapes/Applications/?rt=c3&N=5833185+5153260) (Visitado por última vez: 22/09/2015)
- [8] Chasis, <https://es.wikipedia.org/wiki/Chasis> (Visitado por última vez: 22/09/2015)
- [9] Ángulo de ataque, [https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulo\\_de\\_ataque](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulo_de_ataque) (Visitado por última vez: 22/09/2015)
- [10] Formula 1 Official Site, <http://www.formula1.com/content/fom-website/en.html> (Visitado por última vez: 22/09/2015)
- [11] Manual Honda GX-25, <http://cdn.powerequipment.honda.com/engines/pdf/manuals/37Z6J601.pdf> (Visitado por última vez: 22/09/2015)
- [12] La razón de ser un chasis, <http://es.scribd.com/doc/20314825/Diseno-y-tipos-de-chasis> (Visitado por última vez: 22/09/2015)
- [13] Carrocería, <https://es.wikipedia.org/wiki/Carrocer%C3%ADa> Visitado por última vez: 22/09/2015)

## 11.2 Bibliografía

- [a] "SHELL ECO-MARATHON 2016 OFFICIAL RULES. CHAPTER I"; Norman Koch (Shell Eco-marathon Global Technical Director); 2016.
- [b] Manual integrado de ayuda al software de SolidWorks 2012.
- [c] PFC "Diseño de la estructura de un prototipo destinado a participar en la Shell Eco-Marathon Europe"; Ignacio J. Dufour García; UC3M.
- [d] PFC "Diseño aerodinámico del carenado para el prototipo destinado a la competición Shell Eco-Marathon"; Gonzalo Fernández-pintado Aldonza; UC3M.
- [e] TFG "Diseño de la estructura de un monoplaza destinado a la competición Shell Eco-Marathon"; Ángela Lorenzo Agudo; UC3M.
- [f] TFG "Cálculo y diseño de una transmisión para prototipo Shell Eco-Marathon"; Alberto Cámara Yagüe; UC3M.
- [g] UNE-EN ISO 6947, Soldaduras, Posiciones de trabajo, Definición de los ángulos de pendiente y rotación; Julio de 1997; AENOR.
- [h] UNE-EN ISO 4063, Soldeo y técnicas conexas, Nomenclatura de procesos y números de referencia; Mayo 2010; AENOR.
- [i] Gómez Morales, Tomás; Martín Navarro, José; Águeda Casado, Eduardo; García Jiménez, José Luis. Estructuras del Vehículo 2ª Edición. 2011 Ediciones Paraninfo, S.L.
- [j] Universidad Carlos III de Madrid, Apuntes de Teoría de Vehículos.
- [k] J. Meseguer y A.S. Andrés. Aerodinámica básica. UPM. 2005.
- [l] Revista clásica, Mecánica Popular, Editorial Técnica S.L.
- [m] Martín Maraver, Antonio; Mantenimiento eléctrico y mecánico; 2009 Cursoforum S.L.U
- [n] Groover, Mikell P.; Fundamentos de manufactura moderna : materiales, procesos y sistemas; 1ª Edición, 1997 Prentice-Hall Hispanoamericana.



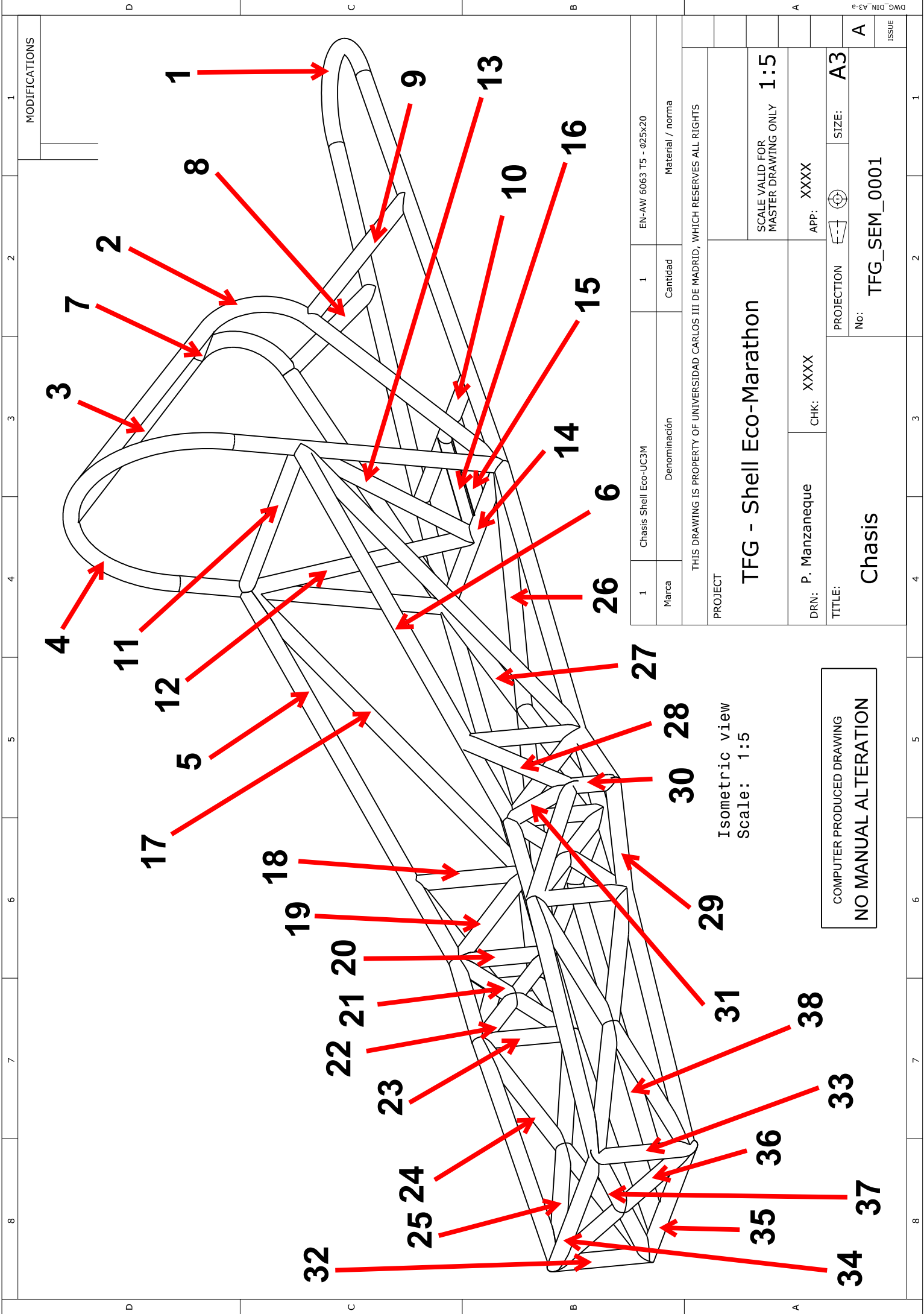
## ANEXOS





## ANEXO I: PLANOS MECÁNICOS

Nº	Designación	Cantidad	Nº plano
1	Suelo	1	TFG_SEM_0003
2	Trasera derecha	1	TFG_SEM_0003
3	Trasera izquierda	1	TFG_SEM_0003
4	Barra seguridad	1	TFG_SEM_0003
5	Lateral derecho	1	TFG_SEM_0004
6	Lateral izquierdo	1	TFG_SEM_0004
7	Tubo 7	1	TFG_SEM_0004
8	Tubo 8	1	TFG_SEM_0004
9	Tubo 9	1	TFG_SEM_0004
10	Tubo 10	1	TFG_SEM_0004
11	Tubo 11	1	TFG_SEM_0004
12	Tubo 12	1	TFG_SEM_0005
13	Tubo 13	1	TFG_SEM_0005
14	Tubo 14	1	TFG_SEM_0005
15	Pletina	2	TFG_SEM_0005
16	Placa base motor	1	TFG_SEM_0005
17	Tubo 17	2	TFG_SEM_0005
18	Tubo 18	2	TFG_SEM_0006
19	Tubo 19	2	TFG_SEM_0006
20	Tubo 20	2	TFG_SEM_0006
21	Tubo 21	2	TFG_SEM_0006
22	Tubo 22	2	TFG_SEM_0006
23	Tubo 23	2	TFG_SEM_0006
24	Tubo 24	2	TFG_SEM_0006
25	Tubo 25	2	TFG_SEM_0006
26	Tubo 26	1	TFG_SEM_0006
27	Tubo 27	1	TFG_SEM_0006
28	Triángulo superior	2	TFG_SEM_0007
29	Triángulo inferior	2	TFG_SEM_0007
30	Sujeción dirección	2	TFG_SEM_0007
31	Refuerzo	2	TFG_SEM_0007
32	Poste vertical frontal	1	TFG_SEM_0008
33	Poste vertical frontal sim.	1	TFG_SEM_0008
34	Poste horizontal frontal	1	TFG_SEM_0008
35	Poste horizontal frontal sim.	1	TFG_SEM_0008
36	Cruz frontal 36	1	TFG_SEM_0008
37	Cruz frontal 37	1	TFG_SEM_0008
38	Larguero central	1	TFG_SEM_0008

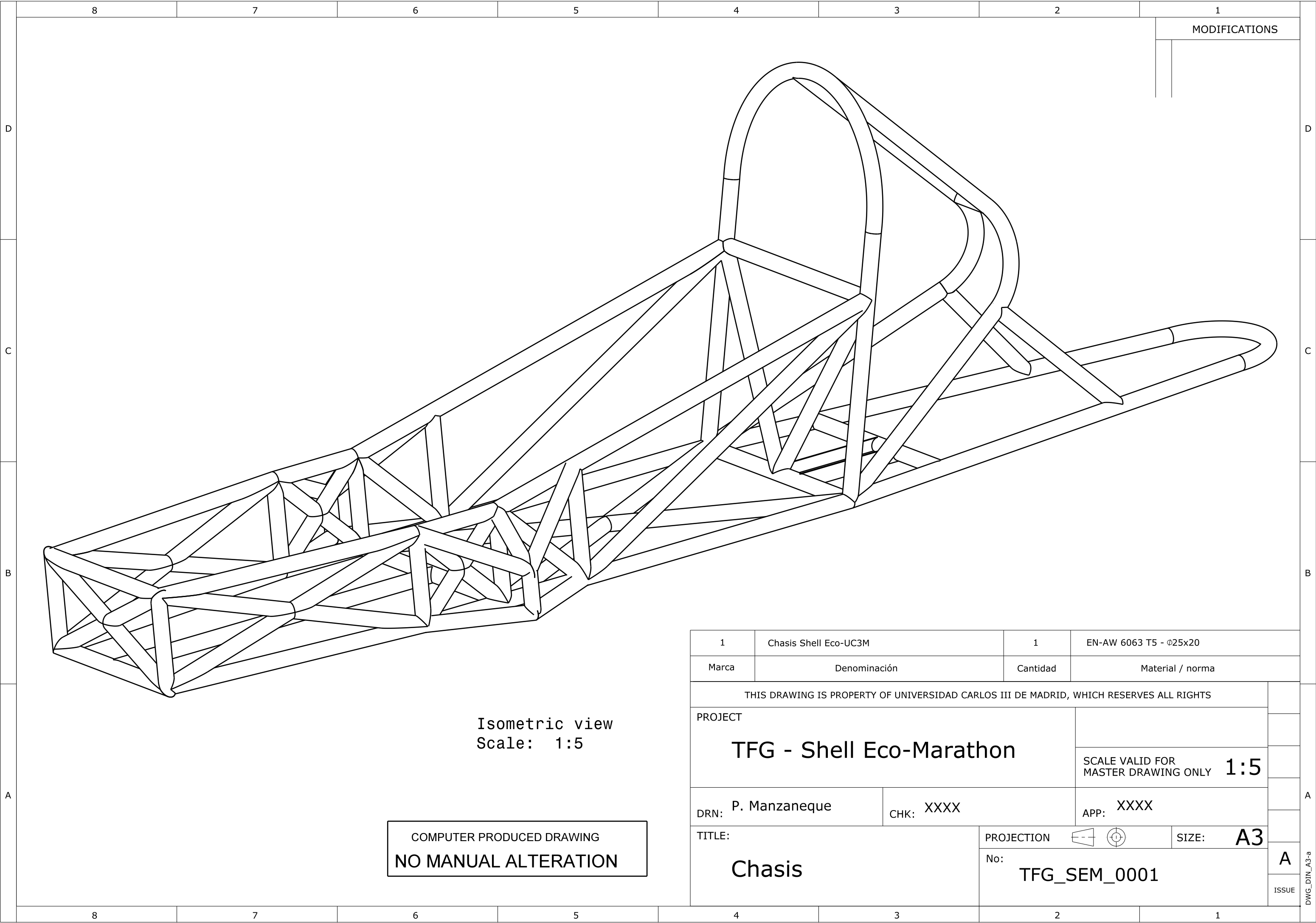


MODIFICATIONS

1	Chasis Shell Eco-UC3M	1	EN-AW 6063 T5 - Ø25x20
Marca	Denominación	Cantidad	Material / norma
THIS DRAWING IS PROPERTY OF UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, WHICH RESERVES ALL RIGHTS			
PROJECT			
TFG - Shell Eco-Marathon			
SCALE VALID FOR MASTER DRAWING ONLY		1:5	
DRN: P. Manzanque	CHK: XXXX	APP: XXXX	A
TITLE: Chasis	PROJECTION	SIZE: A3	A
No: TFG_SEM_0001		A	
		ISSUE	

Isometric view  
Scale: 1:5

COMPUTER PRODUCED DRAWING  
NO MANUAL ALTERATION



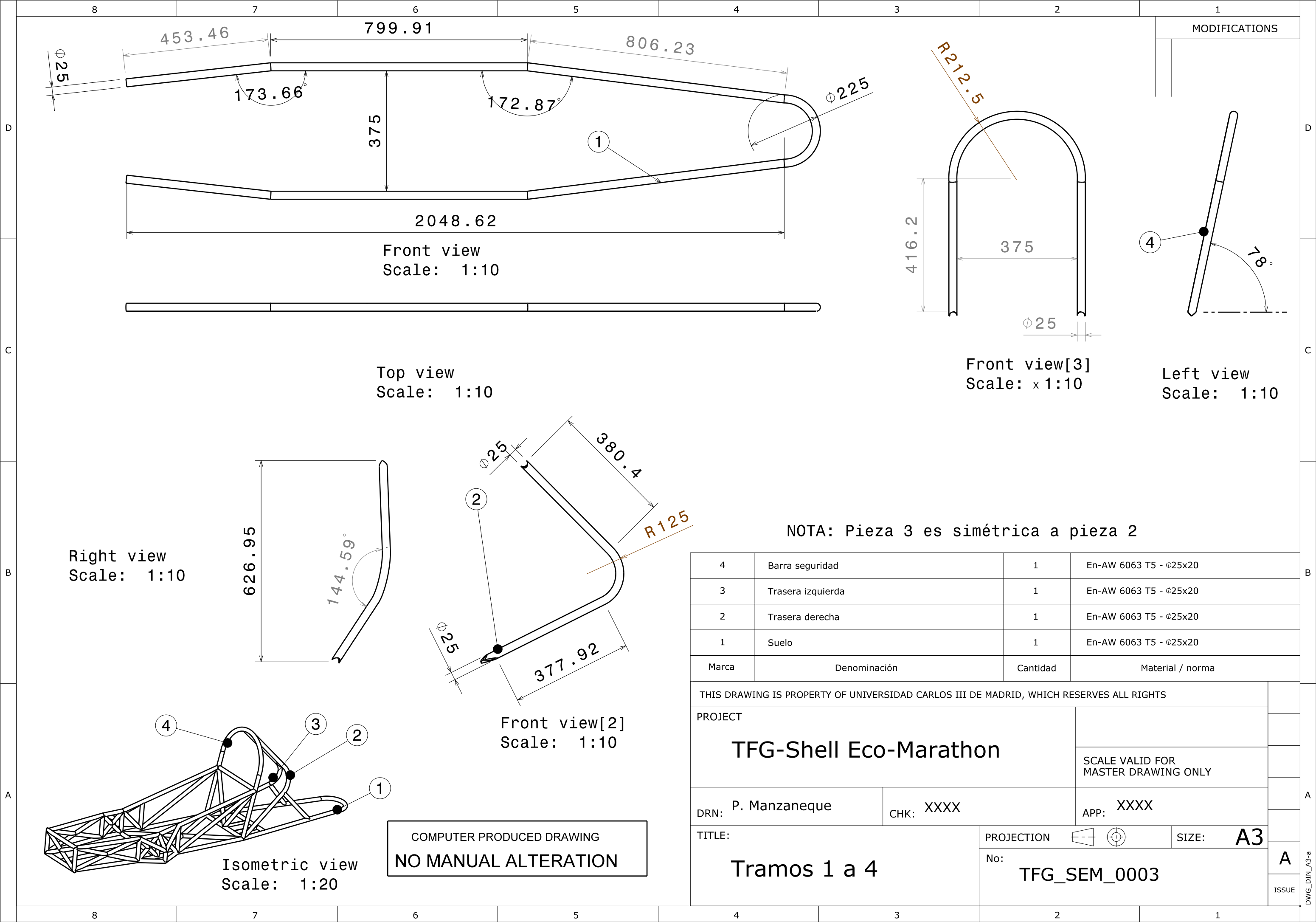
Isometric view  
Scale: 1:5

COMPUTER PRODUCED DRAWING  
NO MANUAL ALTERATION

1	Chasis Shell Eco-UC3M	1	EN-AW 6063 T5 - Ø25x20
Marca	Denominación	Cantidad	Material / norma
THIS DRAWING IS PROPERTY OF UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, WHICH RESERVES ALL RIGHTS			
PROJECT			
TFG - Shell Eco-Marathon		SCALE VALID FOR MASTER DRAWING ONLY 1:5	
DRN: P. Manzaneque	CHK: XXXX		APP: XXXX
TITLE:		PROJECTION	SIZE: A3
Chasis		No: TFG_SEM_0001	A
		ISSUE	

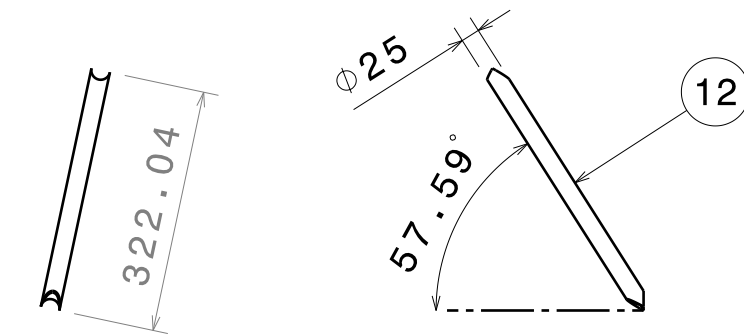
MODIFICATIONS





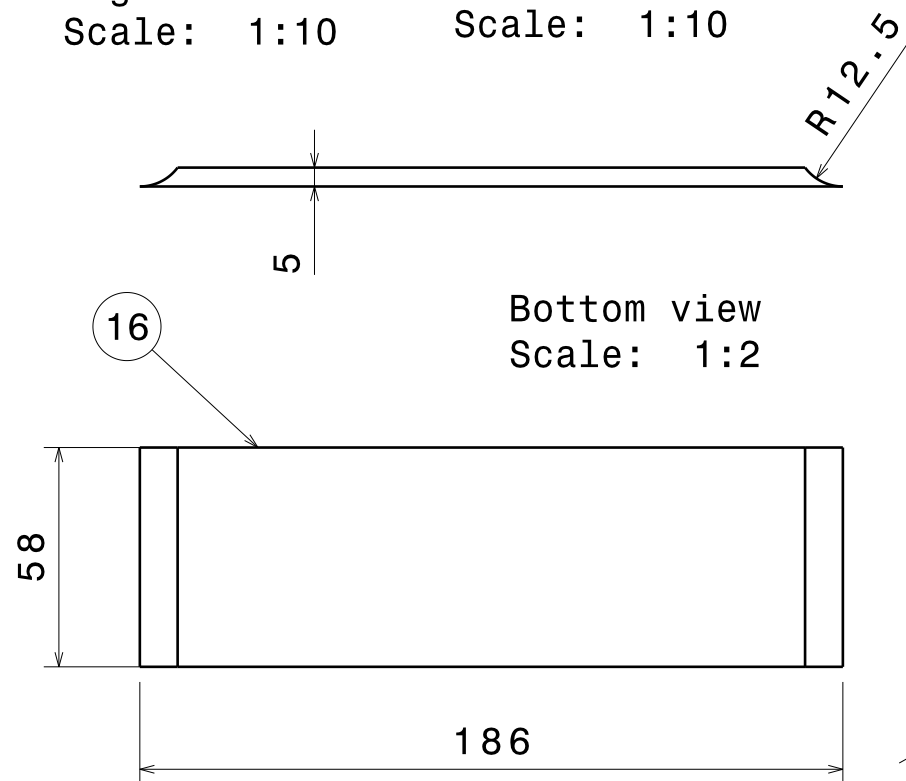




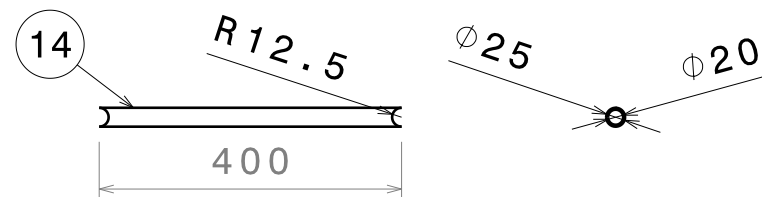


Right view  
Scale: 1:10

Front view  
Scale: 1:10



Front view  
Scale: 1:2

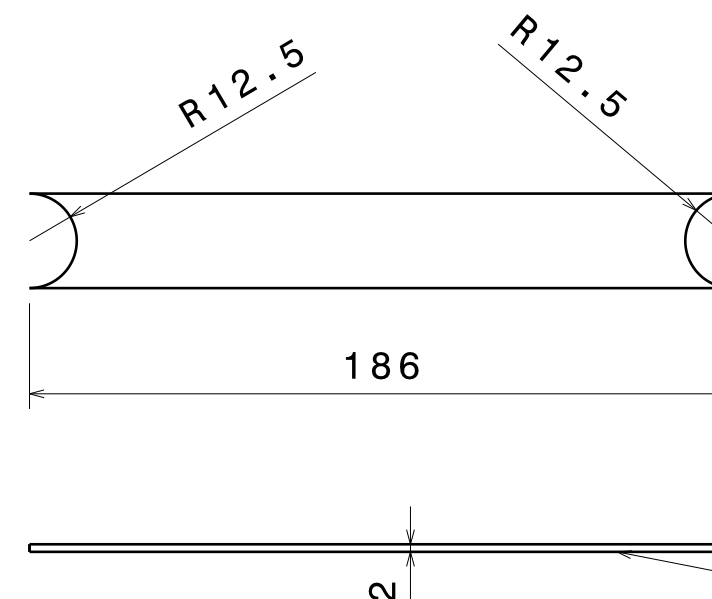


Front view  
Scale: 1:10

Left view  
Scale: 1:10

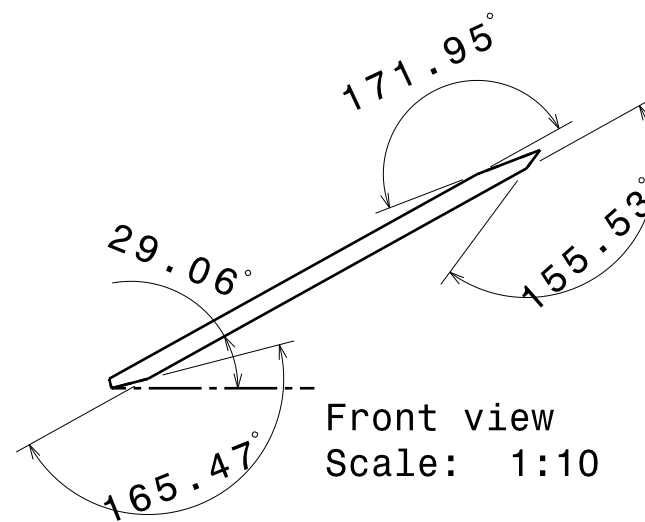


Top view  
Scale: 1:10

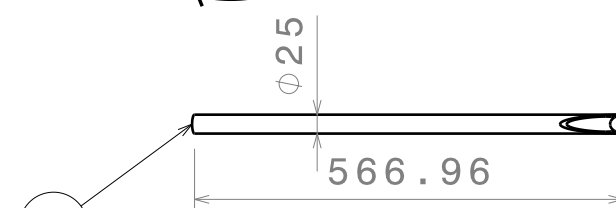


Front view  
Scale: 1:2

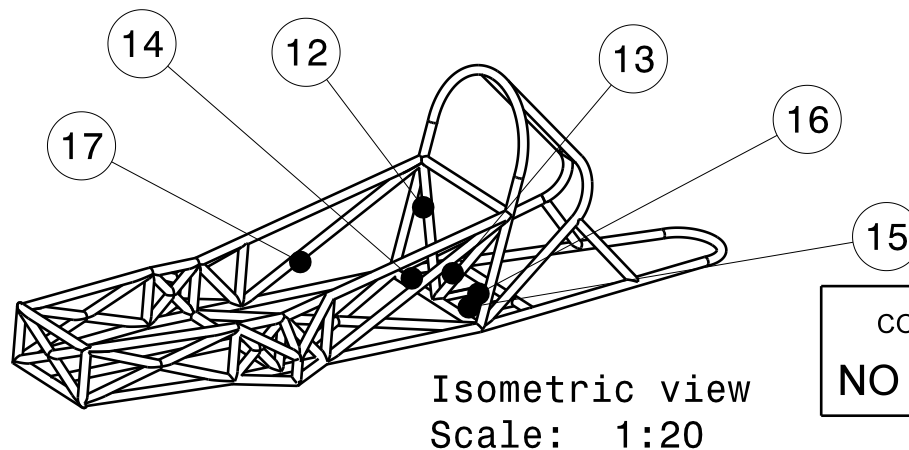
Top view  
Scale: 1:2



Front view  
Scale: 1:10



Top view  
Scale: 1:10



Isometric view  
Scale: 1:20

COMPUTER PRODUCED DRAWING

NO MANUAL ALTERATION

17	Tubo 17	2	EN-AW 6163 T5 - $\phi$ 25x20
16	Placa base motor	1	EN-AW 6063 T5 - e=5mm
15	Pletina	2	EN-AW 6063 T5 - e=2mm
14	Tubo 14	1	EN-AW 6163 T5 - $\phi$ 25x20
13	Tubo 13	1	EN-AW 6163 T5 - $\phi$ 25x20
12	Tubo 12	1	EN-AW 6163 T5 - $\phi$ 25x20
Marca	Denominación	Cantidad	Material / norma

THIS DRAWING IS PROPERTY OF UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, WHICH RESERVES ALL RIGHTS

PROJECT

# TFG-Shell Eco-Marathon

SCALE VALID FOR  
MASTER DRAWING ONLY

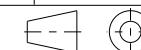
DRN: P. Manzaneque

CHK: XXXX

APP: XXXX

TITLE:

PROJECTION



SIZE:

A3

Tramos 12 a 17

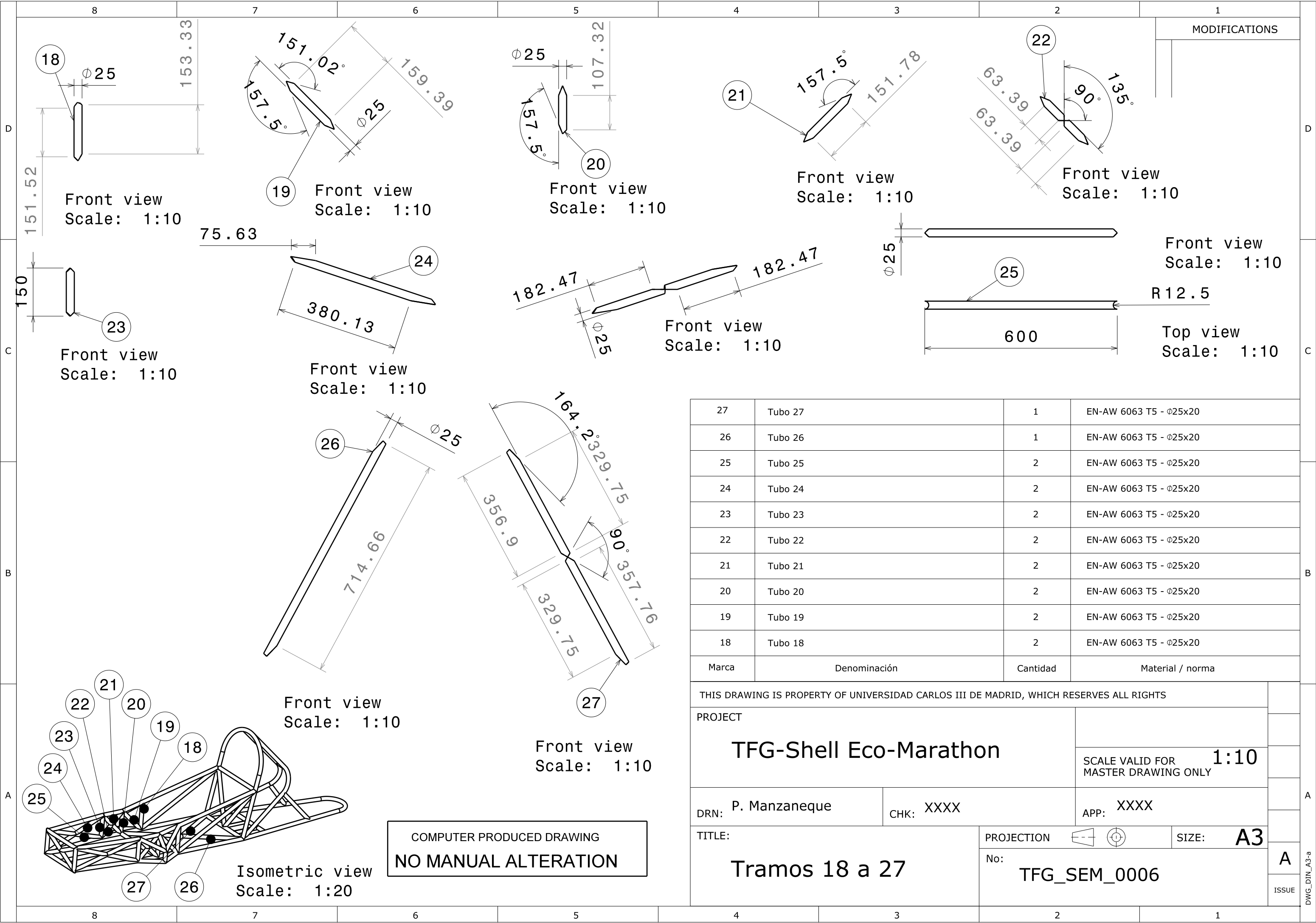
No:

TFG\_SEM\_0005

A

ISSUE

DVG DIN A3-a



MODIFICATIONS

THIS DRAWING IS PROPERTY OF UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, WHICH RESERVES ALL RIGHTS

PROJECT

TFG-Shell Eco-Marathon

SCALE VALID FOR  
MASTER DRAWING ONLY 1:10

DRN: P. Manzaneque

CHK: XXXX

APP: XXXX

TITLE:

Tramos 18 a 27

PROJECTION



SIZE:

A3

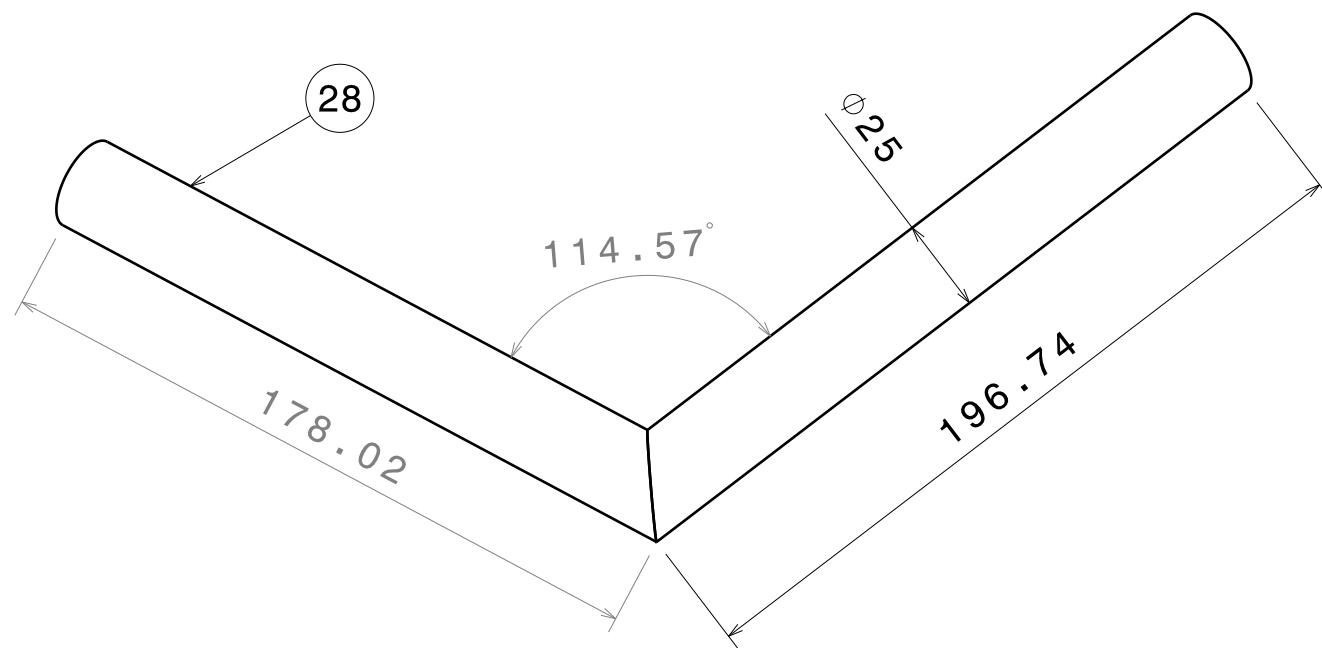
No:

TFG\_SEM\_0006

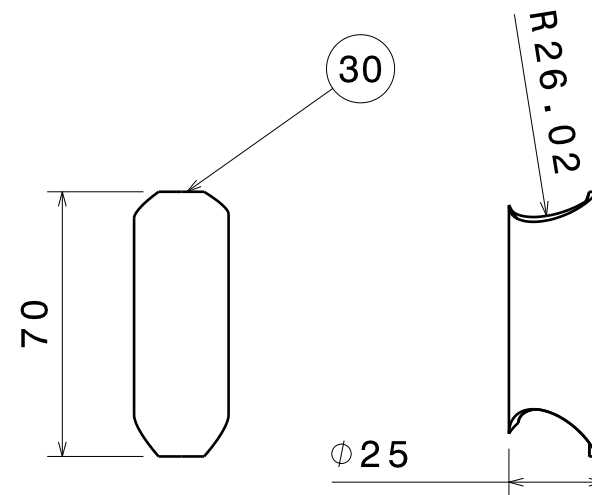
A

ISSUE

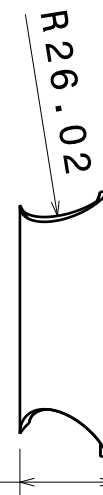
DWG\_DTN\_A3-a



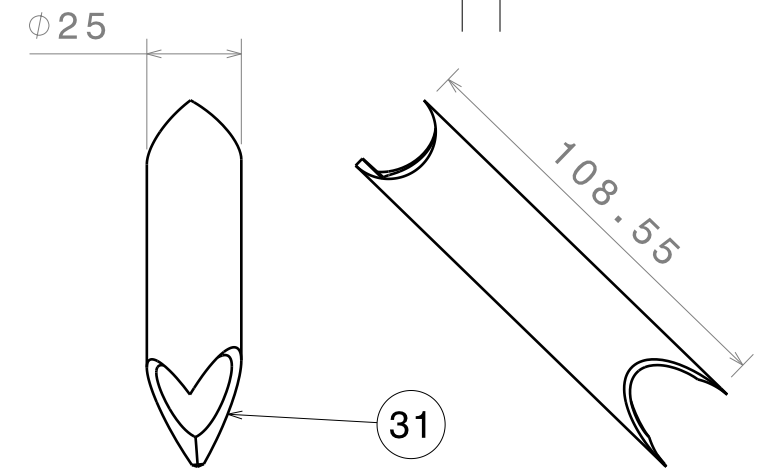
Front view  
Scale: 1:2



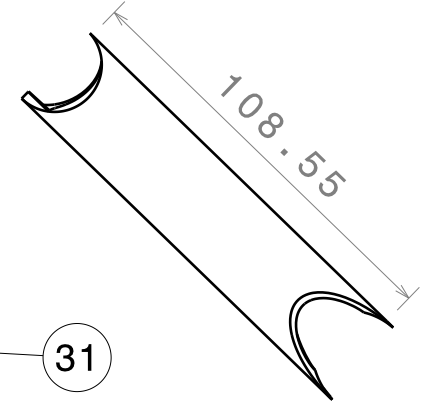
Front view  
Scale: 1:2



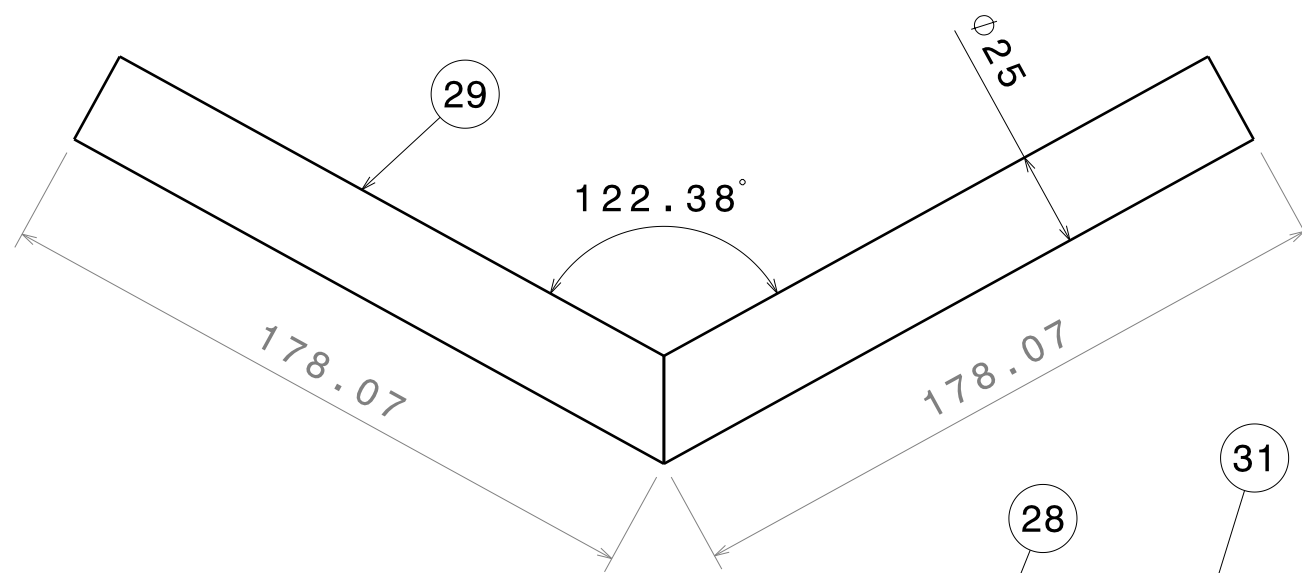
Left view  
Scale: 1:2



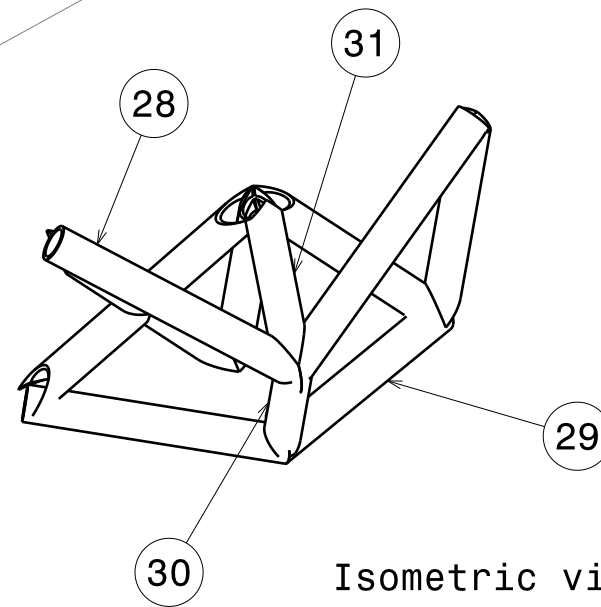
Front view  
Scale: 1:2



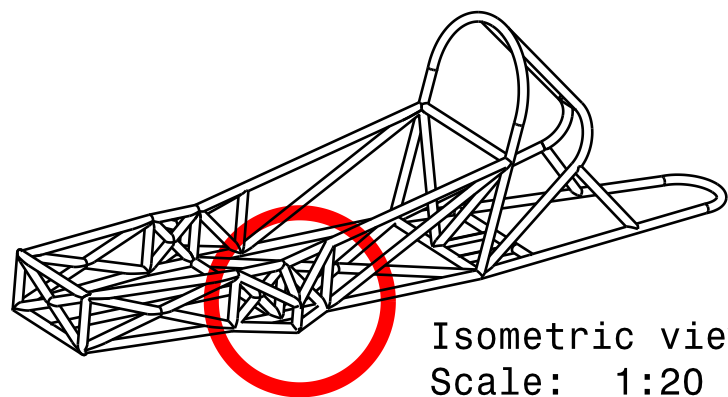
Left view  
Scale: 1:2



Front view  
Scale: 1:2



Isometric view  
Scale: 1:5



Isometric view  
Scale: 1:20

COMPUTER PRODUCED DRAWING

NO MANUAL ALTERATION

31	Refuerzo	2	EN-AW 6063 T5 - Ø25x20
30	Sujeción dirección	2	EN-AW 6063 T5 - Ø25x20
29	Triángulo inferior	2	EN-AW 6063 T5 - Ø25x20
28	Triángulo superior	2	EN-AW 6063 T5 - Ø25x20
Marca	Denominación	Cantidad	Material / norma

THIS DRAWING IS PROPERTY OF UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, WHICH RESERVES ALL RIGHTS

PROJECT

# TFG-Shell Eco-Marathon

SCALE VALID FOR  
MASTER DRAWING ONLY

DRN: P. Manzanique

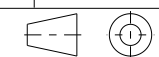
CHK: XXXX

APP: XXXX

TITLE:

## Triángulo suspensión

PROJECTION



SIZE: A3

No:
-----

TFG\_SEM\_0007

A

ISSUE	G
-------	---

DWG\_DIN\_A3-a

